

职业技能鉴定培训教材

初级 制冷设备 维修工

家电类职业技能鉴定培训教材编委会 组编
山东省家用电器职业技能鉴定所

CHUJI
ZHILENGSHI BUI
WEIXIUGONG

7
机械工业出版社
China Machine Press

职业技能鉴定培训教材

初级制冷设备维修工

家电类职业技能鉴定培训教材编委会
山东省家用电器职业技能鉴定所
李增足 主编

组编



机械工业出版社

本书是职业技能鉴定培训教材之一,是初级制冷设备维修工技能考核鉴定指导用书。

本书介绍了电工电子基础知识、制冷技术基础、制冷维修工具的使用、电冰箱制冷系统及其电路与控制系统、电冰箱故障维修与性能测试,书后还附有一套制冷设备维修工初级考试的理论和技能标准试题。

本书突出了职业技术教育的特点,可以作为各类中等职业学校制冷与空调专业的教学用书和制冷空调行业维修人员岗位培训教材及自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

初级制冷设备维修工/李增足主编. —北京:机械工业出版社, 2002.1
职业技能鉴定培训教材
ISBN 7-111-09588-X

I. 初… II. 李… III. 制冷—设备—维修—职业技能鉴定—教材
IV. TB657

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第084130号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑:舒莹 版式设计:霍永明 责任校对:张佳

封面设计:鞠杨 责任印制:付方敏

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2002年2月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·11.5印张·281千字

0 001—4 000册

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

家电类职业技能鉴定培训教材编委会

- 顾 问：李 奇 机械工业出版社 副社长
刘金良 国家轻工业局人才培训中心 常务副主任
程广辉 山东省第二轻工总会 副会长
徐本高 山东省家用电器行业协会 理事长
- 主 任：李佩禹 山东省家用电器职业技能鉴定所 所长
范兴国 机械工业出版社电工电子编辑室 主任
宋术山 海尔集团顾客服务事业部 部长
- 副主任：姜亚彬 海尔集团冰箱顾客服务事业部 部长
王海东 小鸭集团销售公司人力资源中心 主任
苗 滨 山东省商业职业技术学院工程系 主任
- 委 员：陈国华 机械工业出版社 编审
姜宝港 山东省商业职业技术学院 高级讲师
于晓平 济南教育学院 副教授
尹选模 山东省商业职业技术学院 高级讲师
许 华 山东省家用电器职业技能鉴定所 工程师
刘 伟 海尔集团顾客服务事业部技术部 工程师
陶登涛 小鸭集团人力资源培训中心 工程师
邢振禧 山东省商业职业技术学院 高级讲师
齐运州 山东济南百大集团公司 工程师
张新芝 山东省商业职业技术学院 高级讲师
周兴前 山东大禹学院 讲师
胡玉叶 山东省淄博商业学校 高级讲师

序 言

《中华人民共和国劳动法》明确规定：国家对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度，由经过政府批准的考核鉴定机构负责对劳动者实施职业技能鉴定。

职业技能鉴定是提高劳动者素质，增强劳动者就业能力的有效措施。进行考核鉴定，并通过职业资格证书制度予以确认，为企业合理使用劳动力以及劳动者自主择业提供了依据和凭证。

目前，国家公布了实行就业准入的90个工种目录，其中家用电器产品维修工（包括制冷设备维修工、家用电热器具与电动器具维修工）和家用电子产品维修工（包括家用视频设备维修工、家用音频设备维修工）为实行就业准入的范围。

国家劳动和社会保障部2000年第6号令明确规定：技工学校、职业（技术）学校、就业训练中心及各类职业培训机构的毕（结）业生，必须取得相应职业资格证书后，才能到技术工种岗位就业；对从事技术工种的学徒，用人单位应按照《中华人民共和国工种分类目录》所规定的学徒期进行培训；对转岗从事技术工种的劳动者，用人单位应按照国家职业（技能）标准的要求进行培训，达到相应职业技能要求后再上岗。

实施职业技能鉴定，教材建设是重要的一环。为适应职业技能鉴定的迫切需要，推动职业培训教学改革，提高培训质量，根据“国家职业技能鉴定规范”的要求，参照目前职业技能考核鉴定办法和考核鉴定内容，我们组织了家用电器维修专业相关工种的专家和考评员编写这套职业技能鉴定培训教材。考虑到教材的实用性和针对性，邀请名牌家电生产企业参加编写。

这套培训教材，以“国家职业技能鉴定规范”为依据，编写内容限定在工种考核鉴定范围内。考虑到“国家职业技能鉴定规范”要不断修改，工种考核内容要不断更新，这套培训教材对本工种的新技术、新产品也进行较为详细介绍。

家电类职业技能鉴定培训教材共包括以下9种：

1. 初级制冷设备维修工
2. 中级制冷设备维修工
3. 高级制冷设备维修工
4. 初级家用电热器具与电动器具维修工
5. 中级家用电热器具与电动器具维修工
6. 高级家用电热器具与电动器具维修工
7. 初级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）
8. 中级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）
9. 高级家用电子产品维修工（含视频设备维修工、音频设备维修工）

为便于各职业学校和培训单位组织教学，同时照顾到申请参加职业技能鉴定人员自学和复习使用，本套培训教材对每一工种分别按初、中、高三个等级编写，独立成册，具有很强的实用性和针对性。

参加这套培训教材编写工作的单位有：青岛海尔集团、山东小鸭集团、青岛澳柯玛集团、山东省商业职业技术学院、淄博商业学校、山东省电子学校、临沂工业学校、滨州经济学校、潍坊贸易学校、潍坊经济学校、淄博工业学校、山东大禹学院、聊城建设学校、山东省公安学校、济宁市工业学校、济南教育学院、德州财贸经济学校、济南铁路机械学校等。

为便于读者应考，在书后附有近期使用过的国家题库统一鉴定试卷，为读者应考提供复习参考。

由于时间仓促，不足之处在所难免，欢迎各使用单位和个人提出宝贵的意见和建议。

家电类职业技能鉴定培训教材编委会

2000年6月

前 言

《中华人民共和国劳动法》明确规定：国家对规定的职业制定职业技能标准，实行职业资格证书制度。职业技能鉴定是提高劳动者素质，增强劳动者就业能力的有效措施，进行考核鉴定，并颁发职业资格证书予以确认，为企业合理使用劳动力以及劳动者自主择业提供了依据和凭证。

为适应职业技能鉴定的迫切需要，统一鉴定水平，推动职业培训教学改革，提高培训质量，由家电类职业技能教材编委会组织考评员和有关教师、工程师人员编写了这套职业技能鉴定系列丛书。

本书是这套职业技能鉴定系列丛书之一，是初级制冷设备维修工的技能鉴定教材。依据国家职业技能鉴定规范对初级制冷设备维修工的知识和技能的具体要求与组织内容，并根据近年来制冷与空调技术发展的实际情况加以补充，使其更具有实用性。

本书内容包括了电工、电子方面的基础知识及制冷技术基础理论，并在此基础上重点介绍了电冰箱的制冷和电器系统、电冰箱的性能指标测试和故障检修及电冰箱常用维修工具和专用维修工具的使用方法等。本书有助于职业技能鉴定机构组织初级技能考核学习和申请参加初级技能鉴定的人员自学使用，对于各类职业技术学校师生、制冷空调行业的技术人员均有重要的参考价值。

本书由济南铁道职业技术学院副教授李增足任主编。编写人员具体分工如下：淄博商业学校高级讲师胡玉叶编写第一、二章及第六章的第二～第六节，淄博商业学校高级讲师伊佩奇编写第三、五两章，济南铁道职业技术学院讲师张风琴编写第四、七两章及第六章第一节。

限于编者的水平，书中错漏不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

李增足

目 录

序言
前言

第一章 电工学基础 1

- 第一节 电路及其物理量 1
- 第二节 简单直流电路的计算 4
- 第三节 电功与电功率 8
- 第四节 电容器 9
- 第五节 正弦交流电 12
- 第六节 单相交流电路 14
- 第七节 三相交流电路 16
- 第八节 安全用电常识 18
- 复习题 20

第二章 电子技术基础 22

- 第一节 半导体的基础知识 22
- 第二节 晶体二极管 24
- 第三节 晶体三极管 25
- 第四节 整流与滤波电路 29
- 第五节 直流稳压电路 34
- 复习题 37

第三章 制冷技术基础 38

- 第一节 制冷技术基础知识 38
- 第二节 制冷剂与润滑油 46
- 复习题 51

第四章 维修工具的使用操作 52

- 第一节 常用检测仪器、仪表及专用工具的使用方法 52
- 第二节 焊接技术 61
- 复习题 67

第五章 电冰箱的制冷系统 68

- 第一节 电冰箱的制冷循环原理 68
- 第二节 电冰箱制冷系统的组成 69
- 第三节 热交换器的工作原理、结构及故障检修 73
- 第四节 节流阀的工作原理、结构及故障检修 77
- 第五节 辅助设备的工作原理、结构及故障检修 84
- 第六节 压缩机的工作原理、结构及故障检修 91
- 复习题 105

第六章 电冰箱的电气控制系统 106

- 第一节 电气控制系统的组成及工作原理 106
- 第二节 冰箱用压缩机电机的结构、工作原理及故障检修 114
- 第三节 电动机起动与保护装置的结构、工作原理及故障检修 119
- 第四节 温度控制装置的工作原理、结构及故障检修 126
- 第五节 除霜装置的工作原理、结构及故障检修 133
- 第六节 照明和防冻结的装置 136
- 复习题 138

第七章 电冰箱的维修及性能指标测试 139

- 第一节 维修技术 139

第二节 电冰箱的故障判断与排除	146	附录 B 电容器型号命名方法	163
第三节 电冰箱的性能指标测试	147	附录 C 半导体器件型号命名方法	163
第四节 电冰箱的常见故障和处理方法	148	附录 D 参考试卷	165
复习题	160	初级制冷设备维修工知识试卷	165
附录	162	初级制冷设备维修工技能试卷	170
附录 A 电阻器型号命名方法	162	参考文献	174

第一章 电工学基础

内容提要：本章在说明电路的组成、作用和状态之后，介绍了电路中的物理量和有关元件，在此基础上，讨论了有关的简单直流电路的计算；还介绍了正弦交流电的基本知识，分析了单相和三相交流电路；最后阐述了安全用电的有关知识。

第一节 电路及其物理量

一、电路

电路是电流经过的闭合路径，是由一些电气设备或元器件为实现某种功能组合后的总称。电路通常由电源、负载、中间环节（开关、导线、变压器等）三部分组成。用统一规定的符号来表示电路的组成和连接情况的图叫电路图，如图 1-1 为手电筒电路图。

在电路中，电源是产生电能的装置，它把其他形式的能量转换成电能，例如电池将化学能转换成电能，发电机将机械能转换成电能。负载是取用电能的装置，它将电能转换为其他形式的能量，例如电灯将电能转换成光能，电动机将电能转换成机械能等。中间环节是将电源和负载连接成闭合回路的部分，在电路中起着输送和分配电能等方面的作用。

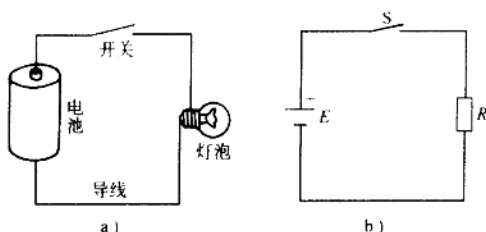


图 1-1 手电筒电路图
a) 示意图 b) 电路图

手电筒电路虽然是一个最简单的电路，但它体现了电路由电源、负载和中间环节三个基本部分组成的共性。通常我们把由负载、连接导线和开关等所组成的电流通路，叫做外电路，而把电源内部的电流通路，叫做内电路。

电路存在着三种状态，即有载工作状态、开路状态和短路状态。例如在图 1-1 中，若开关 S 闭合，电源和负载接通成闭合回路，即称为电路的有载工作状态。有载工作状态也称为通路，此时电路中有工作电流。在图 1-1 中，若开关 S 或电路中某处断开，电源和负载未被接通成闭合回路的状态称为开路状态。开路状态也称为断路状态，此时电路中无电流。在图 1-1 中，若电源或负载两端被导线连接在一起，这种电源未通过负载而被接成闭合回路的状态称为短路状态。短路状态的闭合电路中有短路电流通过，其电流值很大，可大大超过电路在有载工作状态下的电流值，为了保护电源和其他电器设备，通常在电路中接入熔断器或断路器，以便在发生短路时，能迅速地将故障电路切除。

二、电路中的物理量

(一) 电流

电荷有规则的运动就称为电流，电流是电荷在电场力的作用下做定向移动形成的。

电流的大小和方向不随时间而变化，称为恒定电流，又称直流电，简称直流。对于直流，其电流大小用单位时间内通过导体横截面的电量来度量，即

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

式中 I ——电流强度，单位为 A；

Q ——电量，单位为 C；

t ——时间，单位为 s。

电流一词，既代表一种物理现象，又代表一个物理量。电流的单位还有毫安 (mA)、微安 (μA) 等。

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

电流的方向通常规定为正电荷移动的方向。在金属导体中自由电子移动的方向与电流的方向相反。在电路中，当无法判定电流方向时，可先假定电流的参考方向（即正方向），然后列式求解。当求出的电流值为正值时，则表示电流的方向与参考方向相同见图 1-2b；反之，则表示电流的方向与参考方向相反见图 1-2c。

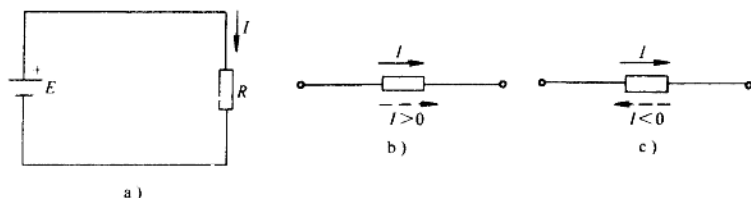


图 1-2 电流的方向

a) 电流的实际方向 b) 实际方向与参考方向相同 c) 实际方向与参考方向相反

——表示参考方向 ——表示实际方向

(二) 电压与电位

1. 电压 电压是衡量电场做功能力大小的物理量。在电路中若电场力将电荷 Q 从 a 点移动到 b 点，所做的功为 W_{ab} ，则功 W_{ab} 与电量 Q 的比值称为 ab 两点间的电压，用字母 U_{ab} 表示，即

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

电压的单位是伏特，简称为伏，用字母 V 表示。常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)、微伏 (μV)。

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

2. 电位 电路中某点与参考点间的电压就称为该点的电位。通常把参考点的电位规定为零电位。电位的符号常用带右下脚标的字母 U 表示，如 U_A 表示 A 点的电位。电位的单位也是伏特。

对照分析上述电压和电位的定义，可知电路中 a 、 b 两点间的电压就是 a 、 b 两点的电位之差。即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

3. 电压的正方向 规定电压降低的方向，即由高电位端指向低电位端的方向为电压的实际方向，如图 1-3 所示。当方向不容易判定时，采用规定电压正方向进行计算得值的方法判定。方法与电流方向的判定相同。

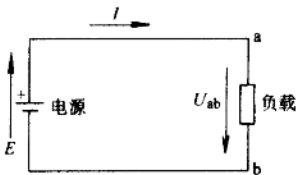


图 1-3 电压与电动势的方向

(三) 电动势

电动势是衡量电源将非电能转换成电能能力的物理量。电动势的定义是电场力把单位正电荷从电源的低电位端经由电源内部移到高电位端电场力所做的功，以字母 E 表示。由定义可知，电动势的单位与电压的单位相同。

电动势的方向规定为在电源的内部由负极指向正极，如图 1-3 所示。

对于一个电源来说，既有电动势又有端电压，但电动势只存在于电源的内部，电源两端的开路电压（即电源两端不接负载时的电压）等于电源的电动势，但两者方向相反。电源的端电压方向规定为：在电源外部由电源的正极指向负极，如图 1-3 所示。

(四) 电阻

1. 导体的电阻 电流在导体中所受到的阻碍作用称为导体的电阻。电阻用 R 表示。电阻的单位为欧姆，简称为欧，用字母 Ω 表示。电阻的单位还有千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）等

$$1k\Omega = 10^3\Omega; 1M\Omega = 10^6\Omega$$

实验证明：在一定温度下，导体的电阻与导体的长度成正比，与横截面积成反比，还与材料导电性有关，即：

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-4)$$

式中 R ——导体的电阻，单位为 Ω ；

l ——导体的长度，单位为 m ；

S ——导体的横截面积，单位为 m^2 ；

ρ ——导体的电阻率，单位为 $\Omega \cdot m$ 。

电阻率 ρ 是反映材料导电性能的系数，单位为 $\Omega \cdot m$ ，不同金属材料电阻率的大小，可查电阻率表。银、铜、铝的电阻率很小，表示对电流的阻碍作用小，所以常用铜或铝制造导线和电器设备的线圈。银的电阻率更小，但因价格贵，一般不用作导线，只有在特殊要求的场合应用，如电器触点等。镍铬、铁铬铝合金的电阻率很大，而且耐高温，常用来制造发热器件的电阻丝。

实验发现，导体的电阻还与温度有关，通常金属导体的电阻随温度升高而增加。

2. 电阻器 具有一定电阻值的元件叫做电阻器，简称为电阻，通常是用电阻率较高的材料制作在陶瓷骨架上而成的。

电阻器的种类很多。按结构不同，可分为固定电阻和可变电位器。按照制作材料不同，可分为碳膜、金属膜、金属氧化膜、线绕和有机合成电阻器等。常用电阻器的外形和特点见表 1-1。

电阻器的主要参数有：

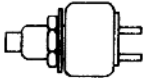
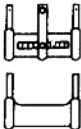
(1) 标称阻值：合格的电阻器上标记的电阻值。

(2) 额定功率：电阻器允许长期工作的功率。额定功率超过 $2W$ 的电阻器称为大功率电阻器。

(3) 允许偏差：标称阻值所允许的偏差，也称为精度等级。通常规定有三级精度，Ⅰ级为 $\pm 5\%$ ，Ⅱ级为 $\pm 10\%$ ，Ⅲ级为 $\pm 20\%$ 。精密电阻器的精度要求高，允许的偏差有 $\pm 0.5\%$ ， $\pm 0.2\%$ ， $\pm 0.1\%$ ， $\pm 0.05\%$ 等。

电阻器的型号命名方法见附录 A。例如：

表 1-1 常用电阻器的外形和特点

名 称	外 形	主 要 特 点
碳膜电阻器 (RT 型)		阻值较稳定, 受电压和频率影响小, 价廉, 应用广泛 阻值: $1\Omega \sim 10M\Omega$ 额定功率: $0.125 \sim 2W$
金属膜电阻器 (RJ 型)		耐热, 噪声小, 体积小, 精度高, 广泛应用于要求较高的电路 阻值: $1\Omega \sim 620M\Omega$ 额定功率: $0.125 \sim 2W$
金属氧化膜电阻器 (RY 型)		抗氧化, 耐高温 阻值: $1\Omega \sim 200k\Omega$ 额定功率: $0.125 \sim 10W$
合成实芯电阻器 (RS 型)		机械强度高, 可靠, 体积小, 价廉 阻值: $4.7\Omega \sim 22k\Omega$ 额定功率: $0.25 \sim 2W$
线绕电阻器 (RX 型)		阻值精度高, 稳定, 抗氧化, 耐热, 功率大, 作为精密和大功率电阻器使用 阻值: $0.1\Omega \sim 5M\Omega$ 额定功率达 $150W$
电位器 (WT 型等)		阻值可以调节。阻值的输出特性有线性式、指数式、对数式。主要用于调节电路中的电阻、电流、电压等。

RJ73, 表示精密金属膜电阻器

WXD3, 表示多圈线绕电位器

RT12, 表示普通碳膜电阻器

电阻器的质量鉴别可从外观和内部两个方面来进行。外表的损坏、电阻体烧焦、引线折断等都很容易从外表看出。电阻器内部损坏或阻值变化过大, 则可利用万用表的欧姆档来鉴定。对于电阻器的其他一些参数, 应使用仪器或专用测试设备进行测量。

在电阻器的选用中, 对于应选用什么类型的电阻器并无严格的规定, 但是应遵循一个规律, 就是应根据各自电路的具体要求和使用条件, 并从电气性能到产品成本等方面综合考虑。不宜片面地选用高精度和非标准系列的电阻产品。为保证电阻器的可靠、耐用, 选用电阻器的额定功率应是实际承受功率的 $1.5 \sim 2$ 倍。额定功率太低, 对电路的正常工作不利, 太高会增加成本, 造成浪费, 也无必要。

第二节 简单直流电路的计算

一、欧姆定律

(一) 部分电路欧姆定律

图 1-4 为电路的某一部分, 实验证明: 一段电路中, 当电阻值 R 不变时, 通过电阻的

电流 I 与电阻两端的电压 U 成正比, 即电压越大, 电流越大; 当电压不变时, 通过电阻的电流与电阻值成反比, 即电阻越大, 电流则越小。这就是部分电路欧姆定律, 用公式表示为

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-5)$$

式中 I ——电流, 单位为 A;

U ——电压, 单位为 V;

R ——电阻, 单位为 Ω 。

例 1-1 已知一个白炽灯的灯丝电阻 $R = 440\Omega$, 加在它两端的电压 $U = 220\text{V}$, 求通过灯丝的电流 I 。

解: 根据部分电路欧姆定律

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220\text{V}}{440\Omega} = 0.5\text{A}$$

例 1-2 已知某电炉接在 220V 的电源上, 正常工作时流过电阻丝的电流为 5A, 求电炉电阻丝的电阻 R 。

解: 根据部分电路欧姆定律

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220\text{V}}{5\text{A}} = 44\Omega$$

(二) 全电路欧姆定律

图 1-5 为一完整的电路, 即一个全电路。实验证明: 通过闭合回路电流的大小, 与电源的电动势成正比, 与闭合回路的内、外电阻之和成反比, 这就是全电路欧姆定律。用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-6)$$

式中 I ——电路的电流, 单位为 A;

E ——电源电动势, 单位为 V;

R ——外电路电阻, 单位为 Ω ;

r ——电源内电阻, 单位为 Ω 。

上式可改写成

$$E = IR + Ir$$

$$\text{或 } IR = E - Ir$$

这里的 IR 是电流通过外电阻所产生的电压降, 也称为电源的端电压, 用 U_{AB} 来表示, 即

$$U_{AB} = E - Ir \quad (1-7)$$

根据全电路欧姆定律, 我们来讨论电路的两种极端状态。

1. 开路 开路就是电源两端或电路某处断开。当外电路开路时, 外电阻相对于内电阻来讲是无穷大 ($R = \infty$), 因此电路中电流 $I = 0$, 且 $U_{AB} = E$ 。

2. 短路 如果外电路被阻值近似为零的导体接通, 这时电源就处于短路状态。当外电路短路时 ($R = 0$), 电路电流称短路电流。短路电流为

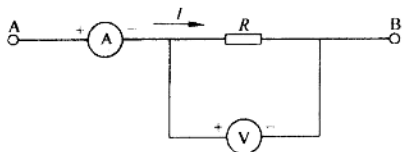


图 1-4 部分电路

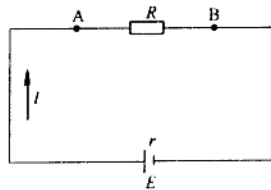


图 1-5 全电路

$$I_s = \frac{E}{r} \quad (1-8)$$

由式(1-8)可见,电源的内阻一般是很小的,因而短路电流可能达到非常大,这将使电源有烧毁的危险。通常短路保护的最常见的方法是在电路中安装熔断器或断路器。

在短路状态下,除了电流大的特点外还有电源的端电压为零的特点。因为此时的端电压为

$$U_{AB} = E - Ir = E - \frac{E}{r}r = 0$$

例 1-3 在图1-5的电路中,已知电池的电动势 $E = 24\text{V}$, 内阻 $r = 2\Omega$, 外电阻 $R = 4\Omega$, 求:(1) 电路中的电流;(2) 电源的端电压。

解: (1) 按照全电路欧姆定律,电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{24\text{V}}{(4 + 2)\Omega} = 4\text{A}$$

(2) 电路两端的电压为

$$U_{AB} = E - Ir = 24\text{V} - 4\text{A} \times 2\Omega = 16\text{V}$$

二、电阻的串联、并联

(一) 电阻的串联及应用

两个或两个以上电阻依次相连,中间无分支的联接方式叫电阻的串联。图1-6是两个电阻的串联电路。

1. 串联电路的特性

(1) 串联电路中流过每个电阻的电流都相等,即

$$I = I_1 = I_2 = \cdots I_n \quad (1-9)$$

式中脚标 1、2…… n 分别代表第 1、第 2……第 n 个电阻(以下相同)。

(2) 串联电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和,即

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

(3) 串联电路的等效电阻(即总电阻)等于各串联电阻之和,即

$$R_{\text{总}} = R_1 + R_2 + \cdots + R_n \quad (1-11)$$

若串联的 n 个电阻的阻值都相等,则式(1-10)和式(1-11)可变为

$$U_1 = U_2 = \cdots = U_n = \frac{U}{n}$$

$$R_{\text{总}} = nR$$

2. 电阻串联的应用

(1) 用 n 个电阻串联来获得阻值较大的电阻。

(2) 采用 n 个电阻构成分压器,使用同一电源可供给几种不同的电压。

(3) 当负载的额定电压低于电源电压时,可用串联的办法来满足负载接入电源使用的需要。

(4) 利用串联电阻的方法来限制和调节电路中电流的大小。

(5) 在电工测量中广泛应用串联电阻的方法来扩大电压表的量程。

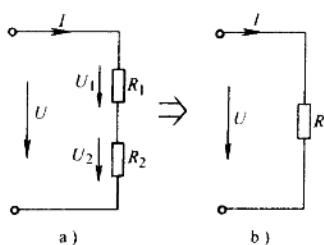


图 1-6 电阻串联的电路

a) 两个电阻串联 b) 等效电路

(二) 电阻的并联及应用

两个或两个以上的电阻接在电路中相同的两点之间的联接方式，叫做电阻的并联。图 1-7 是两个电阻的并联电路。

1. 并联电路的特性

(1) 并联电路中各电阻两端的电压相等，且等于电路两端的电压，即

$$U = U_1 = U_2 = \cdots = U_n \quad (1-12)$$

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻中的电流之和，即

$$I = I_1 + I_2 + \cdots + I_n \quad (1-13)$$

(3) 并联电路的等效电阻（即总电阻）的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

$$\frac{1}{R_{\text{总}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \quad (1-14)$$

若并联的 n 个电阻值都为 R ，则式 (1-13) 和式 (1-14) 可为

$$I_1 = I_2 = \cdots = I_n = \frac{I}{n}$$

$$R_{\text{总}} = \frac{R}{n}$$

2. 电阻并联的应用

(1) 凡是工作电压相同的负载几乎全是并联。

(2) 用并联电阻来获得一个较小电阻。

(3) 在电工测量中，广泛应用并联电阻的方法来扩大电流表的量程。

(三) 电阻混联电路

一个电路中既有互相串联的电阻，又有互相并联的电阻，这样的电路叫混联电路。要分析计算混联电路，可先应用电阻串、并联的规律进行简化，求出它们各自的等效电阻，再计算电路的总电阻。这样应用电路基本定律，就可以计算出各电阻上的电压、电流等值。

例 1-4 已知图 1-8 中的 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = 1\Omega$ ，求 AB 间的等效电阻 R_{AB} 是多少？

解：绘制出如图 1-9 所示的一系列等效电路，然后计算。

由图 1-9a， R_3 与 R_4 串联，其等效电阻为 $R' = R_3 + R_4 = 2\Omega$ ；由图 1-9b， R_5 与 R' 并联，其等效电阻为 $R'' = R_5 // R' = \frac{1 \times 2\Omega^2}{(1+2)\Omega} = 2/3\Omega$ ；由图 1-9c， R_2 与 R'' 串联，其等效电

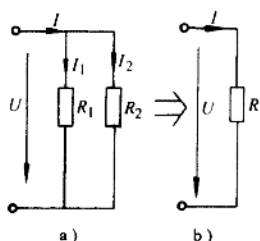


图 1-7 电阻并联的电路

a) 两个电阻并联

b) 等效电路

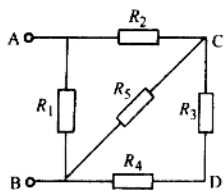


图 1-8 例 1-4 图

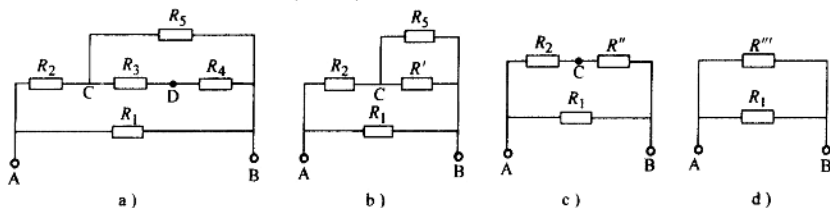


图 1-9 图 1-8 的等效电路图

阻为 $R'' = 1\Omega + 2/3\Omega = 5/3\Omega$; 由图 1-9d, R_1 与 R'' 并联, AB 间的等效电阻为:

$$R_{AB} = R_1 // R'' = \frac{5}{8}\Omega$$

第三节 电功与电功率

一、电功

电流流过负载时, 负载就将电能转换成其他形式的能 (如磁、热、机械能等)。这说明电流通过负载时能够做功。电流所做的功叫电功, 也称为消耗电能。电功常用字母 W 来表示, 单位为焦耳 (J)。其数学表达式为

$$W = UI t \quad (1-15)$$

式中 W ——电功, 单位为 J;

U ——电阻两端的电压, 单位为 V;

I ——通过电阻的电流, 单位为 A;

t ——时间, 单位为 s。

电功的另一个常用单位是千瓦时 ($\text{kW}\cdot\text{h}$), 千瓦时与焦耳的换算关系为

$$1\text{kW}\cdot\text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

负载消耗电能的多少, 可以用电度表来测量。

二、电功率

单位时间内电流所做的功叫电功率 (简称功率)。功率用字母 P 表示, 单位为瓦特 (简称为瓦, 用字母 W 表示)。其数学表达式为

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UI t}{t} = UI \quad (1-16)$$

根据欧姆定律, 电功率的计算式还可以写出以下形式

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-17)$$

式中 P ——电功率, 单位为 W;

U ——电压, 单位为 V;

I ——电流, 单位为 A;

R ——电阻, 单位为 Ω 。

实际中, 常用的电功率的单位还有千瓦 (kW)。

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

三、电流的热效应

电流通过导体时使导体发热的现象叫做电流的热效应。电流流过导体产生的热量, 与电流的平方、导体的电阻及通电时间成正比。这一定律称为焦耳-楞次定律, 其数学表达式为

$$Q = I^2 R t \quad (1-18)$$

式中 Q ——热量, 单位为 J;

I ——电流, 单位为 A;

R ——电阻, 单位为 Ω ;