



卓越系列·21世纪高等教育“十二五”精品规划教材



# 电工技术基础

DIANGONG JISHU JICHU

主 编 刘英泽



天津大学出版社  
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列·21 世纪高等教育“十二五”精品规划教材

# 电 工 技 术 基 础

DIANGONG JISHU JICHU

主 编 刘英泽  
副主编 陈金波 高文璇  
主 审 何天荣

## 内 容 提 要

本教材是根据教育部对 21 世纪高职高专教学内容的要求而编写的,编写的原则是理论适当、够用,以应用为主,注重实践教学。在编写过程中,充分考虑到高职高专的学制和学生的实际情况,省去了烦琐的数学推导,简化了部分理论性较强的分析,加强了物理概念的阐述,力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂,以便读者学习。

本书的主要内容有电工的基本概念与定律、电路基本元件及电工仪表、交流电路、互感电路、安全用电知识、周期性非正弦交流电路、线性电路的过渡过程和磁路与铁芯线圈等。各章均安排了相应的实训及适量的习题。

本书可作为高职高专院校电工、电子类专业或相近专业的理论教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/刘英泽主编. —天津:天津大学出版社,  
2011.5

卓越系列·21 世纪高等教育“十二五”精品规划教材  
ISBN 978-7-5618-3933-1

I. ①电… II. ①刘… III. ①电工技术—高等职业教  
育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 087513 号

|       |                                   |
|-------|-----------------------------------|
| 出版发行  | 天津大学出版社                           |
| 出 版 人 | 杨欢                                |
| 地 址   | 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)       |
| 电 话   | 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742 |
| 网 址   | www.tjup.com                      |
| 印 刷   | 河间市新诚印刷有限公司                       |
| 经 销   | 全国各地新华书店                          |
| 开 本   | 185 mm × 260 mm                   |
| 印 张   | 15.5                              |
| 字 数   | 386 千                             |
| 版 次   | 2011 年 5 月第 1 版                   |
| 印 次   | 2011 年 5 月第 1 次                   |
| 定 价   | 32.00 元                           |

---

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

## 本书编写人员

|     |     |     |     |     |  |
|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| 主 编 | 刘英泽 |     |     |     |  |
| 副主编 | 陈金波 | 高文璇 |     |     |  |
| 编 委 | 高文璇 | 周巨青 | 陈金波 | 黄丽丹 |  |
|     | 刘英泽 | 怀荣章 | 聂晋秋 | 郑羽球 |  |
| 主 审 | 何天荣 |     |     |     |  |

# 前 言

电工技术是电子、机电一体化、信息技术、电气自动化和计算机等电类专业的一门专业基础课,是电类专业的必修课。本书按教育部对高职高专教学内容的基本要求,充实理论教学、注重实验教学、以技能操作为主的教学思想编写。

根据高职高专类大专学院的学制,结合当前电工技术的新发展,本书提供了相当数量的典型例题和习题,在教学内容上力求深入浅出、全面准确,以便读者掌握电工的基本技术,提高分析问题和解决问题的能力。

本书的编写人员均是工作在职业技术教育第一线的老师,他们有丰富的教学经验,有较强的实践动手能力。根据高职高专培养目标和学生的实际情况,对理论性较强的分析作了适当简化,加强了物理概念的阐述,力求简明扼要、通俗易懂,便于读者学习。

本书共分8章,第1章为电工的基本概念与定律,由高文璇老师编写;第2章为电路基本元件及电工仪表,由刘英泽老师编写;第3章为交流电路,由高文璇老师编写;第4章为互感电路,由黄丽丹老师编写;第5章为安全用电知识,由怀荣章老师编写;第6章为周期性非正弦交流电路,第7章为线性电路的过渡过程,由周巨青老师编写;第8章为磁路与铁芯线圈,由陈金波老师编写。聂晋秋老师和郑羽球老师参与了部分插图的绘制工作。全书由刘英泽老师统稿,担任主编,由何天荣副教授担任主审。本书在编写过程中得到了广东省广州涉外经济职业技术学院全体领导和老师的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!特别鸣谢广州涉外经济职业技术学院郑庆璋书记、寻立祥院长、梁素芳常务副院长、富凤英主任等有关领导,他们为本书的编写工作作了大量的指导工作。

由于编者水平有限,本书在编写过程中参考了大量有关电工方面的资料,引用了部分实验数据,在此向有关资料的编著者表示衷心的感谢和崇高的敬意!书中难免存在一些问题,恳请广大读者批评指正。

编者

2010年12月



# 目 录

|                           |      |
|---------------------------|------|
| 第 1 章 电工的基本概念与定律 .....    | (1)  |
| 1.1 电路及电路模型 .....         | (1)  |
| 1.1.1 电路的概念 .....         | (1)  |
| 1.1.2 电路模型 .....          | (1)  |
| 1.1.3 电流 .....            | (2)  |
| 1.1.4 电压 .....            | (2)  |
| 1.1.5 电阻 .....            | (3)  |
| 1.1.6 电动势 .....           | (4)  |
| 1.2 电工的基本定律 .....         | (4)  |
| 1.2.1 欧姆定律 .....          | (4)  |
| 1.2.2 电阻的串联、并联、混联 .....   | (5)  |
| 1.2.3 三端电阻网络的等效变换 .....   | (8)  |
| 1.2.4 电压源和电流源 .....       | (9)  |
| 1.2.5 基尔霍夫定律 .....        | (11) |
| 1.2.6 复杂电路的化简方法 .....     | (13) |
| 1.2.7 叠加定理 .....          | (17) |
| 1.2.8 戴维南定理 .....         | (19) |
| 本章小结 .....                | (20) |
| 习题一 .....                 | (22) |
| 第 2 章 电路基本元件及电工仪表 .....   | (24) |
| 2.1 电阻器 .....             | (24) |
| 2.1.1 电阻器的分类 .....        | (24) |
| 2.1.2 电阻器的主要参数 .....      | (26) |
| 2.1.3 电位器 .....           | (27) |
| 2.1.4 电阻(位)器的测试 .....     | (28) |
| 2.1.5 电阻的串联、并联和混联 .....   | (29) |
| 2.2 电容器 .....             | (30) |
| 2.2.1 电容器的型号命名法 .....     | (31) |
| 2.2.2 电容器的主要参数 .....      | (32) |
| 2.2.3 常见电容器的类型与选用原则 ..... | (33) |
| 2.2.4 电容器的检测 .....        | (34) |





|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| 2.2.5 电容的串联、并联和混联 .....      | (35)        |
| 2.3 电感器 .....                | (36)        |
| 2.3.1 电感器的分类 .....           | (37)        |
| 2.3.2 变压器 .....              | (37)        |
| 2.3.3 电感线圈和变压器的型号及命名方法 ..... | (38)        |
| 2.3.4 电感器和变压器的主要参数 .....     | (39)        |
| 2.3.5 电感器和变压器的选用及测量 .....    | (39)        |
| 2.4 电工开关 .....               | (40)        |
| 2.4.1 胶盖刀开关 .....            | (40)        |
| 2.4.2 铁壳开关 .....             | (41)        |
| 2.4.3 组合开关 .....             | (41)        |
| 2.4.4 按钮开关 .....             | (42)        |
| 2.4.5 行程开关 .....             | (43)        |
| 2.4.6 熔断器 .....              | (44)        |
| 2.4.7 交流接触器 .....            | (47)        |
| 2.4.8 继电器 .....              | (48)        |
| 2.4.9 凸轮控制器 .....            | (50)        |
| 2.4.10 启动器 .....             | (51)        |
| 2.5 电工仪表 .....               | (53)        |
| 2.5.1 指针万用表 .....            | (53)        |
| 2.5.2 数字万用表 .....            | (57)        |
| 2.5.3 电度表 .....              | (59)        |
| 2.5.4 钳形电流表 .....            | (63)        |
| 2.5.5 摇表 .....               | (64)        |
| 本章小结 .....                   | (69)        |
| 电工实训:电工电子元件的识别与检测 .....      | (69)        |
| 习题二 .....                    | (69)        |
| <b>第3章 交流电路</b> .....        | <b>(73)</b> |
| 3.1 正弦交流电的基本概念 .....         | (73)        |
| 3.1.1 正弦量 .....              | (73)        |
| 3.1.2 正弦交流电的三要素 .....        | (74)        |
| 3.1.3 相位差 .....              | (74)        |
| 3.1.4 正弦量的有效值 .....          | (75)        |
| 3.1.5 正弦交流电的表示方法 .....       | (75)        |
| 3.2 单相交流电路 .....             | (76)        |
| 3.2.1 基尔霍夫定律的相量形式及分析方法 ..... | (76)        |
| 3.2.2 交流电路中阻抗的变换 .....       | (77)        |
| 3.2.3 交流电路的功率 .....          | (79)        |



|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| 3.3 三相正弦交流电路 .....         | (81)      |
| 3.3.1 三相电源与三相负载 .....      | (81)      |
| 3.3.2 三相电路的功率 .....        | (84)      |
| 3.3.3 对称三相电路的分析 .....      | (85)      |
| 3.3.4 不对称三相电路的分析 .....     | (88)      |
| 3.4 电工基本操作技能 .....         | (91)      |
| 3.4.1 导线的连接 .....          | (91)      |
| 3.4.2 导线绝缘层的恢复 .....       | (91)      |
| 3.5 配电技术 .....             | (92)      |
| 3.5.1 配电 .....             | (92)      |
| 3.5.2 室内配线 .....           | (93)      |
| 3.5.3 布线施工 .....           | (93)      |
| 3.6 电力系统 .....             | (94)      |
| 3.6.1 架空输电线路 .....         | (94)      |
| 3.6.2 地下输电线路 .....         | (94)      |
| 3.6.3 电力系统的检修 .....        | (95)      |
| 本章小结 .....                 | (96)      |
| 电工实训:电路负载连接 .....          | (96)      |
| 习题三 .....                  | (98)      |
| <br>第4章 互感电路 .....         | <br>(100) |
| 4.1 互感 .....               | (100)     |
| 4.1.1 互感的基本概念 .....        | (100)     |
| 4.1.2 互感电压 .....           | (102)     |
| 4.2 同名端 .....              | (105)     |
| 4.2.1 同名端的概念 .....         | (105)     |
| 4.2.2 同名端的判定 .....         | (105)     |
| 4.3 互感电路的分析 .....          | (107)     |
| 4.3.1 互感线圈的串联 .....        | (107)     |
| 4.3.2 互感线圈的并联 .....        | (108)     |
| 4.4 照明电路 .....             | (110)     |
| 4.4.1 照明电路基础概念 .....       | (110)     |
| 4.4.2 白炽灯 .....            | (112)     |
| 4.4.3 荧光灯 .....            | (114)     |
| 4.4.4 照明实例——LED 路灯简介 ..... | (117)     |
| 4.5 电动机 .....              | (118)     |
| 4.5.1 直流电动机 .....          | (118)     |
| 4.5.2 三相感应电动机 .....        | (128)     |
| 4.5.3 电动机故障维修 .....        | (136)     |





|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 本章小结 .....                     | (142)        |
| 电工实训:三相感应(异步)电动机的拆装及日常维护 ..... | (144)        |
| 习题四 .....                      | (146)        |
| <b>第5章 安全用电知识 .....</b>        | <b>(149)</b> |
| 5.1 触电事故与急救 .....              | (149)        |
| 5.1.1 触电事故 .....               | (149)        |
| 5.1.2 电流对人体的危害 .....           | (150)        |
| 5.1.3 触电事故发生的规律 .....          | (152)        |
| 5.1.4 触电急救 .....               | (152)        |
| 5.2 电气防火防爆 .....               | (155)        |
| 5.2.1 燃烧和爆炸的原理 .....           | (155)        |
| 5.2.2 危险环境 .....               | (156)        |
| 5.2.3 电气设备燃烧和爆炸的原因 .....       | (156)        |
| 5.2.4 防爆电气设备的安装与使用 .....       | (157)        |
| 5.2.5 防火防爆措施 .....             | (158)        |
| 5.3 防雷与防静电 .....               | (159)        |
| 5.3.1 雷电的危害及防雷保护 .....         | (159)        |
| 5.3.2 静电的防护 .....              | (161)        |
| 5.4 直接接触防护 .....               | (161)        |
| 5.4.1 安全电压 .....               | (161)        |
| 5.4.2 屏护和间距 .....              | (162)        |
| 5.4.3 绝缘防护 .....               | (164)        |
| 5.4.4 漏电保护器 .....              | (164)        |
| 5.4.5 安全标志 .....               | (165)        |
| 5.5 间接触电防护 .....               | (166)        |
| 5.5.1 保护接地与保护接零 .....          | (166)        |
| 5.5.2 IT 系统 .....              | (167)        |
| 5.5.3 TN 系统 .....              | (167)        |
| 5.6 电气安全管理 .....               | (169)        |
| 5.6.1 组织管理 .....               | (169)        |
| 5.6.2 保证安全的组织措施 .....          | (170)        |
| 5.6.3 保证安全的技术措施 .....          | (171)        |
| 5.7 电工安全用具 .....               | (171)        |
| 5.7.1 绝缘安全用具 .....             | (171)        |
| 5.7.2 防护用具 .....               | (172)        |
| 5.7.3 登高用具 .....               | (173)        |
| 本章小结 .....                     | (174)        |
| 电工实训:触电急救 .....                | (175)        |



|                                    |              |
|------------------------------------|--------------|
| 习题五 .....                          | (175)        |
| <b>第 6 章 周期性非正弦交流电路 .....</b>      | <b>(177)</b> |
| 6.1 周期性非正弦量及其分解 .....              | (177)        |
| 6.1.1 周期性非正弦量的产生 .....             | (177)        |
| 6.1.2 周期性非正弦量的分解 .....             | (178)        |
| 6.2 周期性非正弦电流电路中的有效值、平均值、平均功率 ..... | (183)        |
| 6.2.1 有效值 .....                    | (183)        |
| 6.2.2 平均值 .....                    | (184)        |
| 6.2.3 平均功率 .....                   | (185)        |
| 6.3 周期性非正弦电流电路的计算 .....            | (186)        |
| 本章小结 .....                         | (189)        |
| 习题六 .....                          | (189)        |
| <b>第 7 章 线性电路的过渡过程 .....</b>       | <b>(191)</b> |
| 7.1 换路定律与初始值的计算 .....              | (191)        |
| 7.1.1 电路中的过渡过程 .....               | (191)        |
| 7.1.2 换路定律 .....                   | (192)        |
| 7.1.3 初始值的计算 .....                 | (193)        |
| 7.2 一阶线性电路的零输入响应 .....             | (195)        |
| 7.2.1 RC 电路的零输入响应 .....            | (195)        |
| 7.2.2 RL 串联电路的零输入响应 .....          | (198)        |
| 7.3 一阶电路的零状态响应 .....               | (200)        |
| 7.3.1 RC 串联电路的零状态响应 .....          | (200)        |
| 7.3.2 RL 串联电路的零状态响应 .....          | (202)        |
| 7.4 一阶电路的全响应 .....                 | (204)        |
| 7.4.1 RC 串联电路的全响应 .....            | (204)        |
| 7.4.2 RL 串联电路的全响应 .....            | (206)        |
| 7.5 一阶电路的三要素 .....                 | (208)        |
| 本章小结 .....                         | (212)        |
| 习题七 .....                          | (213)        |
| <b>第 8 章 磁路与铁芯线圈 .....</b>         | <b>(216)</b> |
| 8.1 磁路和磁路定律 .....                  | (216)        |
| 8.1.1 磁路 .....                     | (216)        |
| 8.1.2 磁路的基尔霍夫定律 .....              | (217)        |
| 8.1.3 磁路的欧姆定律 .....                | (218)        |
| 8.2 铁磁性物质的磁化 .....                 | (218)        |
| 8.2.1 铁磁性物质的磁化曲线 .....             | (218)        |



|                              |       |
|------------------------------|-------|
| 8.2.2 铁磁性物质的分类 .....         | (221) |
| 8.2.3 常用磁性材料 .....           | (221) |
| 8.3 交流铁芯线圈 .....             | (223) |
| 8.3.1 交流铁芯线圈的电磁关系 .....      | (223) |
| 8.3.2 正弦电压作用下,磁通和电流的波形 ..... | (223) |
| 8.3.3 正弦电流作用下,磁通和电压的波形 ..... | (224) |
| 8.3.4 铁芯损耗 .....             | (224) |
| 8.4 电磁铁 .....                | (226) |
| 8.4.1 电磁铁的工作原理和典型结构 .....    | (226) |
| 8.4.2 电磁铁的分类 .....           | (227) |
| 8.5 充磁与消磁技术 .....            | (228) |
| 8.5.1 充磁 .....               | (228) |
| 8.5.2 消磁 .....               | (228) |
| 8.5 涡流的应用和限制 .....           | (229) |
| 本章小结 .....                   | (231) |
| 习题八 .....                    | (232) |
| 参考文献 .....                   | (234) |



# 第1章

## 电工的基本概念与定律

### 1.1 电路及电路模型

#### 1.1.1 电路的概念

##### 1. 什么是电路

电路是由各种元器件(或电器设备)按一定方式连接起来的总体,为电流的流通提供了路径。其基本组成如图 1-1 所示。

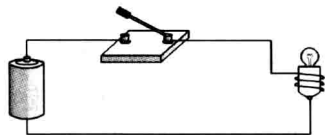


图 1-1 简单的直流电路

##### 2. 电路的基本组成

电路由以下四个基本部分构成。

- (1) 电源,也称供能元件,为电路提供电能的设备或元器件,最常见的如电池、发电机等。
  - (2) 负载,也称耗能元件,使用(消耗)电能的设备或元器件,如灯泡等用电器。
  - (3) 控制器件,为控制电路工作状态的设备或器件,如开关等。
  - (4) 连接导线,将电器设备和元器件按一定方式连接起来,常用的如各种铜、铝电缆线等。
- 电路由以上四个基本部分组成,缺一不可,是一个有机的组合。

##### 3. 电路的状态

在使用电路时,电路存在着通路、开路和短路三种状态,它们分别有以下特征。

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

(2) 开路,也称断路,电路中没有电流通过,又称为空载状态。

(3) 短路,也称捷路,电源两端的导线直接相连接,输出电流过大,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发生火灾,所以通常要在电路或电器设备中安装熔断器、保险丝等保险装置,以避免发生短路时出现不良后果。

#### 1.1.2 电路模型

电路是由电特性相当复杂的元器件组成的,为了便于使用数学方法对电路进行分析,可将实际电路中的各种电器设备和元器件用一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件(模型)来代替,而对其实际的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。常用的理想元件及符号如表 1-1 所示。



表 1-1 常用的理想元件及符号

| 元件名称 | 符号 | 元件名称 | 符号 |
|------|----|------|----|
| 电阻   |    | 电压表  |    |
| 电池   |    | 接地   |    |
| 电灯   |    | 熔断器  |    |
| 开关   |    | 电容   |    |
| 电流表  |    | 电感   |    |

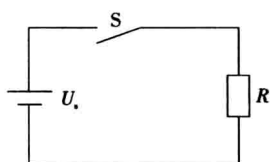


图 1-2 手电筒的电路模型

由理想元件构成的电路叫做实际电路的电路模型,也叫做实际电路的电路原理图,简称为电路图。例如,图 1-2 所示为手电筒的电路模型。

### 1.1.3 电流

#### 1. 电流的基本概念

电路中电荷沿着导体的定向运动形成电流,其方向规定为正电荷流动的方向(或负电荷流动的反方向),其大小等于在单位时间内通过导体横截面的电荷量,称为电流强度(简称电流),用符号  $I$  或  $i(t)$  表示,讨论一般电流时可用符号  $i$ 。

设在  $\Delta t = t_2 - t_1$  时间内,通过导体横截面的电荷量为  $\Delta q = q_2 - q_1$ ,则在  $\Delta t$  时间内的电流强度可用数学公式表示为

$$i(t) = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

式中: $\Delta t$  为很小的时间间隔,法定计量单位为秒(s);电量  $\Delta q$  的法定计量单位为库仑(C);电流  $i(t)$  的法定计量单位为安培(A)。

常用的电流单位还有毫安(mA)、微安( $\mu A$ )、千安(kA)等,它们与安培的换算关系分别为

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

#### 2. 直流电流

如果电流的大小及方向都不随时间变化,即在单位时间内通过导体横截面的电荷量相等,则称之为稳恒电流或恒定电流,简称为直流(Direct Current),记为 DC 或 dc,直流电流要用大写字母  $I$  表示。

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{Q}{t} = \text{常数}$$

直流电流  $I$  与时间  $t$  的关系在  $I-t$  坐标系中为一条与时间轴平行的直线。

#### 3. 交流电流

如果电流的大小及方向均随时间变化,则称之为变动电流。对电路分析来说,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,被简称为交流(Alternating Current),记为 AC 或 ac,交流电流的瞬时值要用小写字母  $i$  或  $i(t)$  表示。

### 1.1.4 电压

#### 1. 电压的基本概念

电压是指电路中 A、B 两点之间的电位差(简称为电压),其大小等于单位正电荷因受电场



力作用从  $A$  点移动到  $B$  点所做的功,电压的方向规定为从高电位指向低电位的方向。

电压的法定计量单位为伏特(V),常用的单位还有毫伏(mV)、微伏( $\mu\text{V}$ )、千伏(kV)等,它们与伏特的换算关系分别为

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

## 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均随时间变化,则称之为变动电压。对电路分析来说,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间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。

## 1.1.5 电阻

### 1. 电阻元件

电阻元件是对电流起阻碍作用的耗能元件,如灯泡、电热炉等电器。

电阻定律:对于截面均匀的金属导体,它的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,还与材料的导电能力有关。

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

式中: $\rho$ ——电阻材料的电阻率,法定计量单位为欧姆·米( $\Omega \cdot \text{m}$ );

$l$ ——绕制成电阻的导线长度,法定计量单位为米(m);

$S$ ——绕制成电阻的导线的横截面积,法定计量单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$R$ ——电阻值,法定计量单位为欧姆( $\Omega$ )。

常用的电阻单位还有千欧(k $\Omega$ )、兆欧(M $\Omega$ ),它们与欧姆的换算关系分别为

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

### 2. 电阻与温度的关系

电阻元件的电阻值大小一般与温度有关,衡量电阻受温度影响大小的物理量叫温度系数,其定义为温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时电阻值发生变化的百分数。

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

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

如果  $R_2 > R_1$ ,则  $\alpha > 0$ ,电阻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  $\alpha < 0$ ,电阻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, $\alpha$  的绝对值越大,表明电阻受温度的影响也越大。

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

常见的电阻材料主要有以下两种类型。

(1) PTC 电阻材料:正温度系数较大,具有非常明显的冷导体特性,可用来制作小功率恒温发热器。

(2) NTC 电阻材料:负温度系数较大,具有非常明显的热导体特性,可用来制作热敏电阻。





### 1.1.6 电动势

衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的电动势。

电动势通常用符号  $E$  或  $e(t)$  表示,  $E$  表示大小与方向都恒定的电动势(即直流电源的电动势),  $e(t)$  表示大小和方向均随时间变化的电动势, 也可简记为  $e$ 。电动势的法定计量单位为伏特(V)。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极经过电源内部移到电源正极所做的功。如设  $W$  为电源中非静电力(电源力)把正电荷  $q$  从负极经过电源内部移到电源正极所做的功, 则电动势大小为

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

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极, 即与电源两端电压的方向相反。

## 1.2 电工的基本定律

### 1.2.1 欧姆定律

欧姆定律反映了电阻元件中电压和电流的约束关系。

对于线性电阻元件, 在任何时刻其两端的电压与电流都成正比例关系, 即

$$I = \frac{U}{R} \text{ 或 } U = IR$$

电阻一定时, 电压愈高电流愈大; 电压一定时, 电阻愈大电流就愈小。

根据欧姆定律可以推导出功率与电阻的关系式为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

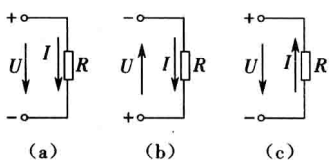


图 1-3 例 1-1 附图

(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向  
(c) 非关联参考方向

在进行电路分析时, 如果电流与电压的参考方向不一致, 即为非关联参考方向, 图 1-3(b)、(c) 的欧姆定律表达式为

$$I = -\frac{U}{R} \text{ 或 } U = -IR$$

**例 1-1** 图 1-3 中的电阻为  $6 \Omega$ , 电流为  $2 \text{ A}$ , 运用欧姆定律求电阻两端的电压  $U$ 。

**解:** 图 1-3(a), 关联,  $U = IR = 2 \text{ A} \times 6 \Omega = 12 \text{ V}$

图 1-3(b), 非关联,  $U = -IR = -2 \text{ A} \times 6 \Omega = -12 \text{ V}$

图 1-3(c), 非关联,  $U = -IR = -2 \text{ A} \times 6 \Omega = -12 \text{ V}$

计算结果显示, 图 1-3(a) 中的电压是正值, 说明图 1-3(a) 中电压的实际方向与所标的参考方向一致; 图 1-3(b)、(c) 中的电压为负值, 说明图 1-3(b)、(c) 中电压的实际方向与所标的参考方向相反。



## 1.2.2 电阻的串联、并联、混联

### 1. 电阻的串联

把两个或两个以上的电阻依次首尾相连,使电流只有一条通路的连接方法,叫做电阻的串联。如图 1-4 所示,是由 3 个电阻组成的串联电路。

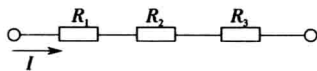


图 1-4 电阻的串联

设串联电路的总电压为  $U$ 、电流为  $I$ 、总功率为  $P$ 。

(1) 等效电阻(总电阻)等于各电阻之和,即

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

(2) 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和,分压公式为

$$U_i = \frac{R_i}{R_1 + R_2 + \cdots + R_i + \cdots + R_n} U (i = 1, 2, \cdots, n)$$

(3) 功率分配如下

$$P_i = \frac{R_i}{R_1 + R_2 + \cdots + R_i + \cdots + R_n} P (i = 1, 2, \cdots, n)$$

(4) 电路中流过每个电阻的电流都相等,即

$$I_1 = I_2 = \cdots = I_n$$

特例:两只电阻  $R_1$ 、 $R_2$  串联时,等效电阻  $R = R_1 + R_2$ ,则分压公式为

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

例 1-2 有一盏额定电压为  $U_1 = 40$  V、额定电流为  $I = 5$  A 的电灯,应该怎样把它接入电压  $U = 220$  V 的照明电路中。

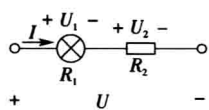


图 1-5 例 1-2 附图

分析:将电灯(设电阻为  $R_1$ )与一只分压电阻  $R_2$  串联后,接入  $U = 220$  V 的电源上,如图 1-5 所示。

解法一:分压电阻  $R_2$  上的电压为

$$U_2 = U - U_1 = 220 - 40 = 180 \text{ V}$$

且  $U_2 = R_2 I$ , 则

$$R_2 = \frac{U_2}{I} = \frac{180}{5} = 36 \Omega$$

解法二:利用两只电阻串联的分压公式  $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$ , 且  $R_1 = \frac{U_1}{I} = 8 \Omega$ , 可得

$$R_2 = R_1 \frac{U - U_1}{U_1} = 36 \Omega$$

将电灯与一只  $36 \Omega$  的分压电阻串联后,即可接入  $U = 220$  V 的电源上。

例 1-3 有一只电流表,内阻  $R_g = 1 \text{ k}\Omega$ ,满偏电流为  $I_g = 100 \mu\text{A}$ ,要把它改成量程为  $U_n = 3$  V 的电压表,应该串联一只多大的分压电阻  $R$ 。

解:据题意画出电路示意图如图 1-6 所示。

该电流表的电压量程为  $U_g = R_g I_g = 0.1$  V,与分压电阻  $R$  串联后的最大电压  $U_n = 3$  V,即电压量程扩大到原来的  $n = U_n / U_g = 30$  倍。

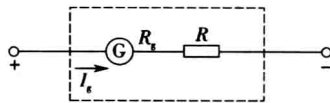


图 1-6 例 1-3 附图



利用两只电阻串联的分压公式,可得

$$U_g = \frac{R_g}{R_g + R} U_n$$

则

$$R = \frac{U_n - U_g}{U_g} R_g = \left( \frac{U_n}{U_g} - 1 \right) R_g = (n - 1) R_g = 29 \text{ k}\Omega$$

上例表明,将一只量程为  $U_g$ 、内阻为  $R_g$  的电流表扩大到量程为  $U_n$ ,所需要的分压电阻为  $R = (n - 1) R_g$ 。其中  $n = U_n / U_g$ ,称为电压扩大倍数。

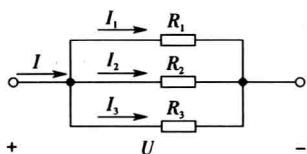


图 1-7 电阻的并联

## 2. 电阻的并联

把两个或两个以上的电阻并列地连接在电路中两点之间,使每一个电阻承受同样的电压,这种连接方式叫做电阻的并联。图 1-7 就是由 3 个电阻连接成的并联电路。

设并联电路的总电流为  $I$ 、电压为  $U$ 、总功率为  $P$ 。

(1) 电路中总电阻的倒数等于各电阻倒数之和,即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} \text{ 或 } G = G_1 + G_2 + \cdots + G_n$$

(2) 分流关系如下

$$I_i = \frac{G_i}{G} I (i = 1, 2, \cdots, n)$$

(3) 功率分配如下

$$P_i = \frac{G_i}{G} P (i = 1, 2, \cdots, n)$$

**特例:**两只电阻  $R_1$ 、 $R_2$  并联时,等效电阻

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

则分流公式为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

**例 1-4** 如图 1-8 所示,电源供电电压  $U = 220 \text{ V}$ ,每根输电导线的电阻均为  $R_1 = 1 \Omega$ ,电路中一共并联 100 盏额定电压为  $220 \text{ V}$ 、功率为  $40 \text{ W}$  的电灯。假设电灯在工作(发光)时电阻值为常数。试求:(1)当只有 10 盏电灯工作时,每盏电灯的电压  $U_L$  和功率  $P_L$ ;(2)当 100 盏电灯全部工作时,每盏电灯的电压  $U_L$  和功率  $P_L$ 。

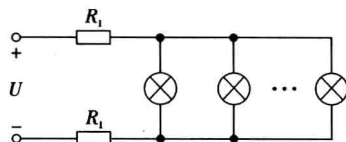


图 1-8 例 1-4 附图

**解:**每盏电灯的电阻为  $R = U^2 / P = 1210 \Omega$ ,  $n$  盏电灯并联后的等效电阻为  $R_n = R / n$ 。

根据分压公式,可得每盏电灯的电压为

$$U_L = \frac{R_n}{2R_1 + R_n} U$$

每盏电灯的功率为