



高等学校应用型特色规划教材

# 电 工 学

## (非电类)

孙 梅 主 编  
刘长国 邱淑贤 副主编

赠 送  
电子课件



清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是依据教育部高教司制定的关于应用型人才培养的相关文件精神,由多年从事教学、培训及科研的一线教师编写而成。在内容取材及安排上,以“必需”和“够用”为度,讲清概念、强化应用,在基本理论的基础上配有一些深入浅出的实训项目,注重技能培养。

全书共分 12 章,内容包括直流电路、正弦交流电路、半导体二极管与整流滤波电路、半导体三极管及基本放大电路、集成运算放大器、数字电路基础、电力电子技术及应用、磁路和变压器、交流电动机、继电—接触器控制、工厂供电与安全用电、检测与转换技术。每章配有实训项目和习题,供读者思考和练习。

本书可以作为应用型人才培养高等院校机械类、工程类等专业的教材,还可作为自学考试或相关工程技术人员参考用书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

电工学(非电类)/孙梅主编;刘长国,邱淑贤副主编. —北京:清华大学出版社,2006.9

(高等学校应用型特色规划教材)

ISBN 7-302-13687-4

I.电… II.①孙…②刘…③邱… III.电工学—高等学校:技术学校—教材 IV.TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 100710 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:李春明

文稿编辑:闫光龙

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:21.5 字数:510 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-13687-4/TM·89

印 数:1~4000

定 价:29.00 元

# 前 言

本书是依据教育部高教司制定的关于应用型人才培养的相关文件精神，由多年从事教学、培训及科研的一线教师编写而成。本书可作为应用型人才培养高等院校机械类、工程类等专业的教材，还可作为自学考试或相关工程技术人员的参考用书。

本书在编写过程中，以应用型人才培养目标为依据，结合笔者多年工程实际经验，给出了一些深入浅出的实训项目，理论与实践紧密结合，注重技能培养。本书在内容取材及安排上，具有以下特点：

- 电工技术增加了可编程控制器的相关内容，电子技术部分增加了传感器的相关内容，这些新增的知识体现较强的实践性。把教学的重点落在了实验教学中，每章增设实训内容，通过实验获得更加感性的知识，避免了感性知识抽象化。
- 精选内容，在讲清基本概念、基本理论、基本分析方法的前提下，采用工程近似方法进行计算，略去一些不必要的数学推导，以有限的篇幅取得较大的知识覆盖面，突出技能培养。
- 电子技术中调整了分立元件和集成电路的教学重点，减少了部分分立电路的分析教学，如场效应管放大电路、功率放大电路、小规模集成电路内部原理等的分析，增强了小规模、中规模集成电路的应用教学，如集成运算放大器中反馈的分析、中规模集成电路译码器及编码器的应用等。
- 培养学生的实际工作能力。精选最基本的、有较高实用价值的实际应用电路，使读者能从这些应用电路实例中举一反三，学会分析电路的技巧和查阅电工电子手册，培养其实际工作的能力。
- 本教材采用国际通用的图形符号、名词与术语。

全书共 12 章，按照理论教学 64 学时、实训 32 学时左右的要求编写。内容包括直流电路、正弦交流电路、半导体二极管与整流滤波电路、半导体三极管及基本放大电路、集成运算放大器、数字电路基础、电力电子技术及应用、磁路和变压器、交流电动机、继电—接触器控制、工厂供电与安全用电、检测与转换技术。每章配有实训项目和深浅度适中的习题供读者练习，书末有部分习题参考答案，可依据实际情况决定内容的取舍。

本书由孙梅担任主编，刘长国、邱淑贤担任副主编；李清德、徐明利、纪圣勇、何瑞、太淑玲、车翼飞参加了本书的编写工作。

本书承蒙长春工业大学姜长泓教授审稿，并提供了详尽的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免有错漏和不妥之处，敬请专家、同仁和广大读者给予批评指正。

编 者



# 读者回执卡

欢迎您立即填写回函

您好！感谢您购买本书，请您抽出宝贵的时间填写这份回执卡，并将此页剪下寄回我公司读者服务部。我们会在以后的工作中充分考虑您的意见和建议，并将您的信息加入公司的客户档案中，以便向您提供全程的一体化服务。您享有的权益：

- ★ 免费获得我公司的新书资料；
- ★ 寻求解答阅读中遇到的问题；

- ★ 免费参加我公司组织的技术交流会及讲座；
- ★ 可参加不定期的促销活动，免费获取赠品；

## 读者基本资料

姓 名 \_\_\_\_\_ 性 别 ☐男 ☐女 年 龄 \_\_\_\_\_  
电 话 \_\_\_\_\_ 职 业 \_\_\_\_\_ 文化程度 \_\_\_\_\_  
E-mail \_\_\_\_\_ 邮 编 \_\_\_\_\_  
通讯地址 \_\_\_\_\_

请在您认可处打√ (6至10题可多选)

- 您购买的图书名称是什么：\_\_\_\_\_
- 您在何处购买的此书：\_\_\_\_\_
- 您对电脑的掌握程度：  
☐不懂 ☐基本掌握 ☐熟练应用 ☐精通某一领域
- 您学习此书的主要目的是：  
☐工作需要 ☐个人爱好 ☐获得证书
- 您希望通过学习达到何种程度：  
☐基本掌握 ☐熟练应用 ☐专业水平
- 您想学习的其他电脑知识有：  
☐电脑入门 ☐操作系统 ☐办公软件 ☐多媒体设计  
☐编程知识 ☐图像设计 ☐网页设计 ☐互联网知识
- 影响您购买图书的因素：  
☐书名 ☐作者 ☐出版机构 ☐印刷、装帧质量  
☐内容简介 ☐网络宣传 ☐图书定价 ☐书店宣传  
☐封面、插图及版式 ☐知名作家（学者）的推荐或书评 ☐其他
- 您比较喜欢哪些形式的学习方式：  
☐看图书 ☐上网学习 ☐用教学光盘 ☐参加培训班
- 您可以接受的图书的价格是：  
☐20 元以内 ☐30 元以内 ☐50 元以内 ☐100 元以内
- 您从何处获知本公司产品信息：  
☐报纸、杂志 ☐广播、电视 ☐同事或朋友推荐 ☐网站
- 您对本书的满意度：  
☐很满意 ☐较满意 ☐一般 ☐不满意
- 您对我们的建议：\_\_\_\_\_

1 0 0 0 8 4

北京100084—157信箱

读者服务部

收

邮政编码：□□□□□□

贴 票 邮 处

请剪下本页填写清楚，放入信封寄回，谢谢！

# 目 录

## 第1章 直流电路..... 1

|                                                        |  |
|--------------------------------------------------------|--|
| 1.1 电路的组成及基本物理量..... 1                                 |  |
| 1.1.1 电路的组成..... 1                                     |  |
| 1.1.2 电路的基本物理量..... 2                                  |  |
| 1.2 欧姆定律、线性电阻和非线性电阻..... 6                             |  |
| 1.2.1 一段电路的欧姆定律..... 6                                 |  |
| 1.2.2 全电路的欧姆定律..... 6                                  |  |
| 1.2.3 线性电阻和非线性电阻..... 7                                |  |
| 1.2.4 电阻电路的连接..... 8                                   |  |
| 1.3 额定值以及电源有载工作、<br>开路、短路..... 10                      |  |
| 1.3.1 额定值..... 10                                      |  |
| 1.3.2 电源有载工作、开路、短路..... 11                             |  |
| 1.4 电压源、电流源及其等效变换..... 12                              |  |
| 1.4.1 电压源..... 12                                      |  |
| 1.4.2 电流源..... 13                                      |  |
| 1.4.3 电压源与电流源的等效变换..... 14                             |  |
| 1.5 基尔霍夫定律..... 15                                     |  |
| 1.5.1 基尔霍夫电流定律(KCL)..... 15                            |  |
| 1.5.2 基尔霍夫电压定律..... 17                                 |  |
| 1.6 电路中电位的计算..... 18                                   |  |
| 1.7 戴维南定理及诺顿定理..... 20                                 |  |
| 1.7.1 戴维南定理..... 20                                    |  |
| 1.7.2 诺顿定理..... 21                                     |  |
| 1.8 支路电流法..... 21                                      |  |
| 1.9 实训与实验仿真..... 22                                    |  |
| *1.9.1 EWB 简介..... 22                                  |  |
| 1.9.2 应用 EWB 对电路进行<br>计算机仿真实验——电阻、<br>电流、电压的测量..... 25 |  |
| 1.10 本章实训..... 27                                      |  |

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 1.10.1 实训一：直流电压、<br>电流表的安装..... 27 |  |
| 1.10.2 实训二：电压、<br>电位的测定..... 29    |  |
| 1.10.3 实训三：万用表的基本<br>原理及使用..... 30 |  |
| 习题..... 33                         |  |

## 第2章 正弦交流电路..... 36

|                                    |  |
|------------------------------------|--|
| 2.1 正弦交流电的基本概念..... 36             |  |
| 2.1.1 交流电的产生..... 37               |  |
| 2.1.2 表征交流电的三要素..... 38            |  |
| 2.2 同频率正弦量的相加和相减..... 41           |  |
| 2.2.1 正弦量的表示法..... 41              |  |
| 2.2.2 同频率正弦量的加、减法..... 42          |  |
| 2.3 交流电路中的电阻、电容与电感..... 44         |  |
| 2.3.1 纯电阻交流电路..... 45              |  |
| 2.3.2 纯电容交流电路..... 47              |  |
| 2.3.3 纯电感交流电路..... 48              |  |
| 2.4 电阻、电感、电容的串、<br>并联电路及谐振..... 50 |  |
| 2.4.1 电阻、电感、电容的<br>串联电路..... 50    |  |
| 2.4.2 电阻、电感、电容的<br>并联电路..... 51    |  |
| 2.4.3 电路的谐振..... 53                |  |
| 2.5 功率因数的补偿..... 54                |  |
| 2.5.1 电路的功率因数..... 54              |  |
| 2.5.2 功率因数的补偿..... 55              |  |
| 2.6 三相交流电路..... 57                 |  |
| 2.6.1 三相交流电动势的产生..... 57           |  |
| 2.6.2 三相电源的星形连接<br>和三角形连接..... 59  |  |

|                                     |    |                                                    |     |
|-------------------------------------|----|----------------------------------------------------|-----|
| 2.7 三相负载的连接.....                    | 60 | 4.1.2 半导体三极管的<br>电流放大作用.....                       | 86  |
| 2.7.1 三相负载的星形连接.....                | 61 | 4.1.3 半导体三极管的特性曲线.....                             | 88  |
| 2.7.2 三相负载的三角形连接.....               | 62 | 4.1.4 半导体三极管的主要参数.....                             | 89  |
| 2.8 本章实训.....                       | 63 | 4.2 放大电路的基本知识.....                                 | 90  |
| 2.8.1 照明电路安装及<br>功率因数的提高.....       | 63 | 4.2.1 放大电路的概念.....                                 | 90  |
| 2.8.2 三相负载的连接<br>及功率的测量.....        | 65 | 4.2.2 放大电路的主要性能指标.....                             | 91  |
| 习题.....                             | 69 | 4.3 共发射极基本放大电路.....                                | 92  |
| <b>第3章 半导体二极管与<br/>整流滤波电路</b> ..... | 70 | 4.3.1 共发射极基本放大<br>电路的组成.....                       | 92  |
| 3.1 半导体的基本知识.....                   | 70 | 4.3.2 共发射极放大电路的<br>静态分析.....                       | 94  |
| 3.1.1 半导体的特性.....                   | 71 | 4.3.3 用图解法分析动态工作情况.....                            | 96  |
| 3.1.2 杂质半导体.....                    | 71 | 4.3.4 放大电路的非线性失真.....                              | 99  |
| 3.1.3 PN结的形成及特性.....                | 72 | 4.3.5 微变等效电路分析法.....                               | 100 |
| 3.2 半导体二极管.....                     | 74 | 4.4 稳定静态工作点的放大电路.....                              | 103 |
| 3.2.1 二极管的基本结构.....                 | 74 | 4.4.1 温度对静态工作点的影响.....                             | 103 |
| 3.2.2 二极管的伏安特性.....                 | 74 | 4.4.2 稳定静态工作点放大<br>电路的分析.....                      | 104 |
| 3.2.3 二极管的参数.....                   | 75 | 4.5 多级放大电路.....                                    | 107 |
| 3.3 整流电路与滤波电路.....                  | 76 | 4.5.1 多级放大电路的级间<br>耦合方式.....                       | 108 |
| 3.3.1 整流电路的工作原理.....                | 76 | 4.5.2 多级放大电路的参数.....                               | 109 |
| 3.3.2 整流电路的参数计算.....                | 77 | 4.6 功率放大电路.....                                    | 111 |
| 3.3.3 电容滤波电路的工作原理.....              | 78 | 4.6.1 功率放大电路概述.....                                | 111 |
| 3.4 硅稳压管稳压电路.....                   | 79 | 4.6.2 乙类双电源互补对<br>称功率放大电路.....                     | 112 |
| 3.4.1 稳压管的工作原理.....                 | 79 | 4.6.3 甲乙类互补对称功率<br>放大电路.....                       | 115 |
| 3.4.2 稳压管稳压电路.....                  | 80 | 4.7 本章实训:应用 Multisim 进行<br>计算机仿真分析.....            | 117 |
| 3.5 本章实训:应用 EWB 进行<br>计算机仿真分析.....  | 81 | 4.7.1 Multisim 简介.....                             | 117 |
| 3.5.1 二极管的伏安特性仿真分析.....             | 81 | 4.7.2 应用 Multisim 对固定偏<br>流式共射极放大电路<br>进行仿真分析..... | 118 |
| 3.5.2 整流电路与滤波<br>电路仿真分析.....        | 82 | 4.7.3 应用 Multisim 对分压<br>偏置式共射极放大电路<br>进行仿真分析..... | 119 |
| 3.5.3 硅稳压管稳压电路仿真分析.....             | 83 | 习题.....                                            | 120 |
| 习题.....                             | 83 |                                                    |     |
| <b>第4章 半导体三极管及基本<br/>放大电路</b> ..... | 85 |                                                    |     |
| 4.1 半导体三极管.....                     | 85 |                                                    |     |
| 4.1.1 半导体三极管的结构.....                | 85 |                                                    |     |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| <b>第5章 集成运算放大器</b> .....                  | 123 |
| 5.1 差动放大电路的工作原理.....                      | 123 |
| 5.2 集成电路基本知识.....                         | 128 |
| 5.3 集成运放的应用基础.....                        | 128 |
| 5.3.1 集成运放的理想化条件.....                     | 128 |
| 5.3.2 集成运放的电压传输特性.....                    | 130 |
| 5.4 集成运放的线性应用.....                        | 132 |
| 5.4.1 反相比例运算.....                         | 132 |
| 5.4.2 同相比例运算.....                         | 133 |
| 5.4.3 加法与减法运算电路.....                      | 133 |
| 5.5 集成运放的非线性应用.....                       | 137 |
| 5.6 集成稳压电路.....                           | 138 |
| 5.6.1 三端固定输出集成稳压器.....                    | 138 |
| 5.6.2 三端可调输出集成稳压器.....                    | 139 |
| 5.7 本章实训: 应用 Multisim<br>进行计算机仿真分析.....   | 140 |
| 5.7.1 应用 Multisim 对差分式<br>放大电路进行仿真分析..... | 140 |
| 5.7.2 应用 Multisim 对比例<br>运算电路进行仿真分析.....  | 141 |
| 5.7.3 应用 Multisim 对加减法<br>运算电路进行仿真分析..... | 142 |
| 5.7.4 应用 Multisim 对积分<br>运算电路仿真分析.....    | 143 |
| 习题.....                                   | 144 |
| <b>第6章 数字电路基础</b> .....                   | 147 |
| 6.1 数制与编码.....                            | 147 |
| 6.1.1 数制.....                             | 147 |
| 6.1.2 编码.....                             | 149 |
| 6.2 基本逻辑门电路及应用.....                       | 150 |
| 6.2.1 与逻辑及与门电路.....                       | 150 |
| 6.2.2 或逻辑和或门电路.....                       | 152 |
| 6.2.3 非逻辑和非门电路.....                       | 153 |
| 6.2.4 复合门电路.....                          | 154 |
| 6.2.5 基本逻辑及应用.....                        | 155 |
| 6.3 组合逻辑电路.....                           | 160 |
| 6.3.1 组合逻辑电路的分析.....                      | 160 |
| 6.3.2 组合逻辑电路的设计.....                      | 161 |
| 6.3.3 组合逻辑部件.....                         | 162 |
| 6.3.4 基本触发器.....                          | 169 |
| 6.3.5 其他触发器及触发器<br>的触发方式.....             | 171 |
| 6.4 时序逻辑电路及应用.....                        | 177 |
| 6.4.1 寄存器.....                            | 179 |
| 6.4.2 计数器.....                            | 180 |
| 6.4.3 555 定时器及其应用.....                    | 182 |
| 6.5 本章实训.....                             | 185 |
| 6.5.1 基本逻辑门电路<br>设计与仿真.....               | 185 |
| 6.5.2 组合逻辑电路设计与仿真.....                    | 186 |
| 6.5.3 计数器设计与仿真.....                       | 187 |
| 6.5.4 555 振荡器设计与仿真.....                   | 187 |
| 习题.....                                   | 188 |
| <b>第7章 电力电子技术及其应用</b> .....               | 191 |
| 7.1 电力电子技术简介.....                         | 191 |
| 7.1.1 电力电子技术的发展.....                      | 191 |
| 7.1.2 电力电子技术的应用.....                      | 192 |
| 7.2 晶闸管的结构和工作原理.....                      | 192 |
| 7.2.1 晶闸管的结构.....                         | 192 |
| 7.2.2 晶闸管的工作原理.....                       | 194 |
| 7.2.3 晶闸管的伏安特性<br>和主要参数.....              | 194 |
| 7.3 单相可控整流电路.....                         | 196 |
| 7.3.1 单相半波可控整流电路.....                     | 197 |
| 7.3.2 单相桥式全控整流电路.....                     | 199 |
| 7.4 晶闸管的触发电路.....                         | 203 |
| 7.4.1 对晶闸管的触发<br>电路的要求.....               | 203 |
| 7.4.2 单结晶体管组成的<br>触发电路.....               | 203 |
| 7.5 新型电力电子器件.....                         | 206 |
| 7.5.1 门极可关断晶闸管.....                       | 206 |
| 7.5.2 大功率晶体管.....                         | 207 |
| 7.5.3 功率场效应晶体管.....                       | 208 |

|                                            |     |                                     |     |
|--------------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 7.5.4 绝缘栅双极型晶体管 .....                      | 209 | 9.3.2 三相异步电动机的<br>电磁转矩 .....        | 243 |
| 7.6 本章实训:单结管触发电路及单相<br>半控桥式电路三种负载的研究 ..... | 212 | 9.3.3 三相异步电动机的<br>机械特性 .....        | 244 |
| 习题 .....                                   | 213 | 9.4 三相异步电动机的启动、<br>调速和制动 .....      | 247 |
| <b>第8章 磁路和变压器</b> .....                    | 214 | 9.4.1 三相异步电动机的启动 .....              | 247 |
| 8.1 磁场的基本物理量 .....                         | 214 | 9.4.2 三相异步电动机的调速 .....              | 250 |
| 8.1.1 磁通与磁感应强度 .....                       | 214 | 9.4.3 三相异步电动机的制动 .....              | 251 |
| 8.1.2 磁导率 .....                            | 215 | 9.5 其他用途的交流电动机 .....                | 252 |
| 8.1.3 磁场强度 $H$ .....                       | 216 | 9.5.1 单相异步电动机 .....                 | 252 |
| 8.2 铁磁材料的磁性能 .....                         | 216 | 9.5.2 同步电动机 .....                   | 254 |
| 8.2.1 磁化曲线与磁滞回线 .....                      | 216 | 9.6 本章实训:三相异步电动机<br>旋转磁场的演示实验 ..... | 255 |
| 8.2.2 铁磁材料的磁性能 .....                       | 218 | 习题 .....                            | 257 |
| 8.2.3 铁磁材料的种类和用途 .....                     | 219 | <b>第10章 继电-接触器控制</b> .....          | 259 |
| 8.3 磁路和磁路欧姆定律 .....                        | 219 | 10.1 常用低压电器 .....                   | 259 |
| 8.3.1 磁路 .....                             | 219 | 10.1.1 刀开关 .....                    | 259 |
| 8.3.2 磁通势 .....                            | 220 | 10.1.2 熔断器 .....                    | 260 |
| 8.3.3 磁路欧姆定律 .....                         | 220 | 10.1.3 按钮 .....                     | 261 |
| 8.3.4 涡流 .....                             | 221 | 10.1.4 接触器 .....                    | 262 |
| 8.4 变压器 .....                              | 223 | 10.1.5 继电器 .....                    | 264 |
| 8.4.1 变压器的基本结构 .....                       | 223 | 10.1.6 行程开关 .....                   | 267 |
| 8.4.2 变压器的工作原理 .....                       | 224 | 10.1.7 自动空气开关 .....                 | 268 |
| 8.4.3 变压器的额定值、<br>功率、效率 .....              | 227 | 10.2 三相笼型异步电动机<br>直接启动控制电路 .....    | 270 |
| 8.4.4 其他变压器 .....                          | 229 | 10.2.1 单向控制电路 .....                 | 270 |
| 8.5 本章实训:单相变压器特性检测 .....                   | 231 | 10.2.2 顺序控制电路 .....                 | 271 |
| 习题 .....                                   | 233 | 10.2.3 正反转控制电路 .....                | 272 |
| <b>第9章 交流电动机</b> .....                     | 234 | 10.2.4 多地控制电路 .....                 | 274 |
| 9.1 三相异步电动机的构造 .....                       | 234 | 10.3 三相笼型异步电动机的<br>降压启动和制动控制 .....  | 275 |
| 9.1.1 定子 .....                             | 235 | 10.3.1 三相笼型异步电动机<br>的降压启动 .....     | 275 |
| 9.1.2 转子 .....                             | 235 | 10.3.2 三相笼型异步电动机<br>的制动控制 .....     | 276 |
| 9.1.3 三相电动机的铭牌 .....                       | 236 | 10.4 本章实训:电气控制实训 .....              | 278 |
| 9.2 三相异步电动机的基本原理 .....                     | 237 | 10.4.1 常用低压电器的识别 .....              | 278 |
| 9.2.1 旋转磁场 .....                           | 238 |                                     |     |
| 9.2.2 转差率 .....                            | 240 |                                     |     |
| 9.3 异步电动机的电磁转<br>矩与机械特性 .....              | 242 |                                     |     |
| 9.3.1 转子电路的参数 .....                        | 242 |                                     |     |

|                                          |            |                                  |            |
|------------------------------------------|------------|----------------------------------|------------|
| 10.4.2 单向旋转接触器<br>自锁控制线路的安装 .....        | 279        | 412.1.1 检测与转换技术的<br>基本概念 .....   | 302        |
| 10.4.3 按钮、接触器双重联锁<br>控制线路的安装 .....       | 281        | 12.1.2 测量误差 .....                | 303        |
| 10.4.4 Y/ $\Delta$ 降压启动控制<br>线路的安装 ..... | 282        | 12.2 传感器及其分类 .....               | 304        |
| 习题 .....                                 | 283        | 12.2.1 传感器 .....                 | 304        |
| <b>第 11 章 工厂供电与安全用电</b> .....            | <b>285</b> | 12.2.2 传感器的组成 .....              | 304        |
| 11.1 电力系统的基本知识 .....                     | 285        | 12.2.3 传感器的分类 .....              | 304        |
| 11.1.1 发电厂 .....                         | 286        | 12.2.4 传感器的特性 .....              | 305        |
| 11.1.2 电网 .....                          | 286        | 12.3 电量测量及非电量测量 .....            | 307        |
| 11.1.3 电力用户 .....                        | 287        | 12.3.1 电流、电压和功率的测量 .....         | 307        |
| 11.2 工厂供电概述 .....                        | 287        | 12.3.2 非电量测量 .....               | 307        |
| 11.2.1 工厂供电的意义和要求 .....                  | 287        | 12.4 常用传感器工作原理<br>及其测量电路 .....   | 308        |
| 11.2.2 工厂供电系统组成 .....                    | 288        | 12.4.1 应变片式电阻传感器 .....           | 308        |
| 11.2.3 工厂电力负荷的计算 .....                   | 289        | 12.4.2 电容式传感器 .....              | 310        |
| 11.3 触电 .....                            | 293        | 12.4.3 电感式传感器 .....              | 311        |
| 11.4 安全用电 .....                          | 295        | 12.5 本章实训：电阻应变式<br>传感器特性测试 ..... | 313        |
| 11.5 节约用电 .....                          | 297        | 习题 .....                         | 314        |
| 11.5.1 加强工厂供用电系统<br>的科学管理 .....          | 298        | <b>附录 A 逻辑符号对照示例</b> .....       | <b>315</b> |
| 11.5.2 搞好工厂供用电系统<br>的技术改造 .....          | 299        | <b>附录 B 集成电路</b> .....           | <b>316</b> |
| 11.6 本章实训：三相交流<br>电相序的判别 .....           | 300        | <b>附录 C 常用集成电路引脚排列</b> .....     | <b>317</b> |
| 习题 .....                                 | 301        | <b>附录 D 常用二极管技术参数</b> .....      | <b>320</b> |
| <b>第 12 章 检测与转换技术</b> .....              | <b>302</b> | <b>部分习题参考答案</b> .....            | <b>326</b> |
| 12.1 检测与转换技术的基础知识 .....                  | 302        |                                  |            |

# 第1章 直流电路

## 本章要点:

- 电路的基本组成、电路的三种工作状态和额定电压、额定电流、额定功率等概念
- 掌握欧姆定律及电阻的串联、并联
- 掌握基尔霍夫定律、戴维南定理及诺顿定理
- 掌握支路电流法
- 掌握电压源与电流源的等效互换

## 本章难点:

- 基尔霍夫定律、戴维南定理及诺顿定理
- 支路电流法
- 电压源与电流源的等效互换
- 仿真软件 EWB 简介

## 1.1 电路的组成及基本物理量

### 1.1.1 电路的组成

电路是由各种电气器件按一定方式用导线连接组成的总体,它提供了电流通过的闭合路径。电路的组成部分包括:

- ① 电源:是供应电能的设备。如发电厂、电池等。
- ② 负载:是取用电能的设备。如电灯、电机等。
- ③ 中间环节:是连接电源和负载的部分,起传输和分配电能的作用。如变压器、输电线等。

图 1.1 所示为一最简单的电路。这里干电池将化学能转换为电能,小灯泡取用电能并转换为光能。导线和开关用来连接电源和负载,为电流提供通路,把电源的能量供给负载,并根据负载需要接通和断开电路。

电路的功能和作用有两类:第一类功能是进行能量的转换、传输和分配;第二类功能是进行信号的传递与处理。例如,扩音机输入的是由声音转换而来的电信号,通过晶体管组成的放大电路,输出的便是放大的电信号,从而实现了放大功能;电视机可将接收到的信号,经过处理,转换成图像和声音。

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,

可将电路实体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,而对它的实际上的结构、材料、形状等非电磁特性不予考虑。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 1.1 所示的实际电路的电路模型如图 1.2 所示。常用理想元件及图形符号如表 1.1 所示。

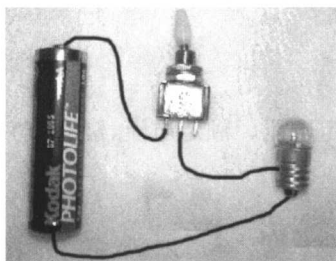


图 1.1 简单的电路

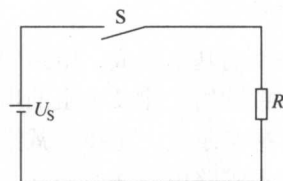


图 1.2 电路模型(电路图)

表 1.1 常用理想元件及图形符号

| 名 称 | 符 号 | 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  |     |

### 1.1.2 电路的基本物理量

#### 1. 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。当金属导体处于电场之内时,自由电子要受到电场力的作用,逆着电场的方向作定向移动,这就形成了电流。

大小和方向均不随时间变化的电流叫恒定电流,简称直流(Direct Current),记为 DC 或 dc。

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。

电流的强弱用电流强度来表示,对于恒定直流,电流强度  $I$  用单位时间内通过导体截面的电量  $Q$  来表示,即

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

电流的单位是 A(安[培])。在 1s 内通过导体横截面的电荷为 1C(库[仑])时,其电流为 1A。计算微小电流时,电流的单位用 mA(毫安)、 $\mu\text{A}$ (微安)或 nA(纳安),其换算关系为:  $1\text{kA} = 10^3\text{A}$ ;  $1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}$ ;  $1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A}$ ;  $1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}$ 。

习惯上,规定正电荷的移动方向为电流的实际方向。在外电路,电流由正极流向负极;

在内电路, 电流由负极流向正极。

在简单电路中, 电流的实际方向可由电源的极性确定, 在复杂电路中, 电流的方向有时事先难以确定。出于分析电路的需要, 我们引入了电流的参考正方向的概念。在进行电路计算时, 先任意选定某一方向作为待求电流的正方向, 并根据此正方向进行计算, 若计算得到结果为正值, 则电流的实际方向与选定的正方向相同; 若计算得到结果为负值, 则电流的实际方向与选定的正方向相反。如图 1.3 所示, 图中实线箭头表示电流的参考正方向, 虚线箭头表示实际方向。



图 1.3 参考正方向与实际方向

## 2. 电压

电场力把单位正电荷从电场中点 A 移到点 B 所做的功  $W_{AB}$  称为 A、B 两点间的电压, 用  $U_{AB}$  表示, 即

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q}$$

电压的单位为 V(伏 [特])。如果电场力把 1C 电量从点 A 移到点 B 所作的功是 1J(焦 [耳]), 则 A 与 B 两点间的电压就是 1V。计算较大的电压时用 kV(千伏), 计算较小的电压时用 mV(毫伏)。其换算关系为:  $1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V}$ ;  $1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V}$ 。

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点, 即由正极指向负极, 因此, 在电压的方向上电位是逐渐降低的。

电压总是相对两点之间的电位而言的, 所以用双下标表示, 一个下标(如 A)代表起点, 一个下标(如 B)代表终点。电压的方向则由起点指向终点, 有时用箭头在图上标明。如  $U_{AB}$  为电压的实际方向, 当标定的参考方向与电压的实际方向相同时(图 1.4(a)), 电压为正值; 当标定的参考方向与实际电压方向相反时(图 1.4(b)), 电压为负值。

电路元件的电流参考方向与电压参考方向(从“+”极到“-”极)一致, 即电流与电压降参考方向一致, 这样的电压和电流的参考方向称为一致的参考方向或关联的参考方向。



图 1.4 电压的参考方向与实际方向

## 3. 电动势

为了维持电路中有持续不断的电流, 必须有一种外力, 把正电荷从低电位处(如负极 B)移到高电位处(如正极 A)。在电源内部就存在着这种外力。如图 1.5 所示, 外力克服电场

力把单位正电荷由低电位 B 端移到高电位 A 端, 所做的功称为电动势, 用  $E$  表示。电动势的单位也是 V。如果外力把 1C 的电量从点 B 移到点 A, 所做的功是 1J, 则电动势就等于 1V。电动势的方向规定为从低电位指向高电位, 即由负极指向正极。

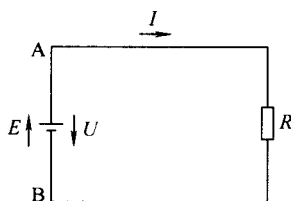


图 1.5 电动势

#### 4. 电功率

在直流电路中, 根据电压的定义可知, 电场力所做的功是  $W = QU$ 。把单位时间内电场力所做的功称为电功率, 则有

$$P = \frac{dW}{dt} = u \frac{dQ}{dt} = UI \quad (1.1)$$

功率的单位是 W (瓦 [特])。对于大功率, 采用 kW (千瓦) 或 MW (兆瓦) 作单位, 对于小功率则用 mW (毫瓦) 或  $\mu$ W (微瓦) 作单位。

在电源内部, 外力做功, 正电荷由低电位移向高电位, 电流逆着电场方向流动, 将其他能量转变为电能, 其电功率为

$$P = EI \quad (1.2)$$

我们把能量传输(流动)的方向定为功率的方向。类似电流、电压的处理方式, 也可以为功率假设参考方向, 功率的实际方向与参考方向一致时, 功率为正, 否则, 功率为负。简单地说, 当任意一个二端电路元件的电压和电流取一致的参考方向时, 其所吸收(即外界输入)的功率为  $P > 0$ ; 如果该电路元件的电压和电流的参考方向不一致, 则其所吸收的功率为  $P < 0$ 。如果计算出的功率值为正, 表明该元件吸收能量(吸收功率), 为负则表明它向外界提供能量(提供功率)。

当已知设备的功率为  $P$  时, 在  $t$  秒内消耗的电能为  $W = Pt$ , 电能就等于电场力所作的功, 单位是 J (焦 [耳])。在电工技术中, 往往直接用  $W \cdot s$  (瓦特秒) 作单位, 实践中则常用  $kW \cdot h$  (千瓦小时) 作单位, 俗称 1 度电。  $1 kW \cdot h = 3.6 \times 10^6 W \cdot s$

**【例 1.1】** 有一功率为 60W 的电灯, 每天使用它照明的时间为 4h, 如果按每月 30 天计算, 那么每月消耗的电能为多少度? 合为多少 J?

**解:** 该电灯平均每月工作时间  $t = 4 \times 30 = 120$  h, 则

$$W = P \cdot t = 60 \times 120 = 7200 W \cdot h = 7.2 kW \cdot h$$

即每月消耗的电能为 7.2 度, 约合为  $3.6 \times 10^6 \times 7.2 \approx 2.6 \times 10^7$  J。

**【例 1.2】** 在图 1.6 中, 5 个元件代表电源或负载。电流和电压的参考方向如图所示。今通过实验测量得知:  $I_1 = -4A$ ,  $I_2 = 6A$ ,  $I_3 = 10A$ ,  $U_1 = 140V$ ,  $U_2 = -90V$ ,  $U_3 = 60V$ ,  $U_4 = -80V$ ,  $U_5 = 30V$ 。

(1) 试标出各电流的实际方向和各电压的实际极性。

- (2) 判断哪些元件是电源？哪些元件是负载？  
 (3) 计算各元件的功率，看电源发出的功率和负载取用的功率是否平衡？

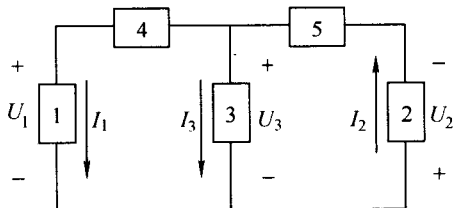


图 1.6 例 1.2 的图

**分析：**本题共有三个小题。解第(1)小题应掌握电流、电压的实际方向与参考方向间的关系：当实际方向与参考方向一致时，其实验测定值取正号，实际方向与参考方向相反时则取负号。例如电流  $I_1$ ，实际方向与参考方向相反， $I_2$  和  $I_3$  实际方向与参考方向相同，电压  $U_1$ 、 $U_3$ 、 $U_5$  实际极性与参考极性相同，而  $U_2$ 、 $U_4$  则相反。第(2)小题中判别电源或负载有两种方法：①用电流、电压的实际方向判别；二者方向相反，电流从“+”端流出，为电源输出功率，反之则是负载吸收功率。②用电流、电压参考方向计算功率：二者参考方向一致，计算功率  $P=UI$ ，若  $P$  值为正则负载， $P$  值为负则为电源，参考方向相反则反之。例如元件 1：电流实际方向与电压实际方向相反，电流从“+”端流出，故为电源。用参考方向计算  $P=U_1 I_1=140 \times (-4)=-560\text{W}$ ，为负值，结果相同。第(3)小题计算各元件功率，用参考方向计算，然后将所有电源功率相加应等于所有负载功率相加，达到功率平衡。若不相等说明计算有误或实验数据有误。

**解：**(1) 电流、电压实际方向与极性标明在图 1.7 中。

(2) 元件 1、2 为电源，3、4、5 为负载。

(3)  $P_1=U_1 I_1=-560\text{W}$

$$P_2=U_2 I_2=-90 \times 6=-540\text{W}$$

$$P_3=U_3 I_3=60 \times 10=600\text{W}$$

$$P_4=U_4 I_1=-80 \times (-4)=320\text{W}$$

$$P_5=U_5 I_2=30 \times 6=180\text{W}$$

电源发出功率  $P_E=P_1+P_2=560+540=1100\text{W}$

负载吸收功率  $P=P_3+P_4+P_5=600+320+180=1100\text{W}$

二者相等，功率平衡。

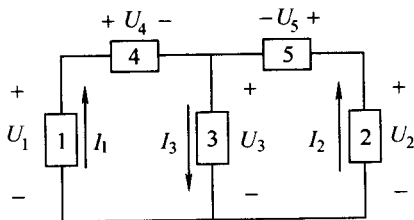


图 1.7 电流、电压实际方向与极性

## 1.2 欧姆定律、线性电阻和非线性电阻

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件,例如灯泡、电热炉等电器。图 1.8 所示的常见元件都可作为电阻。

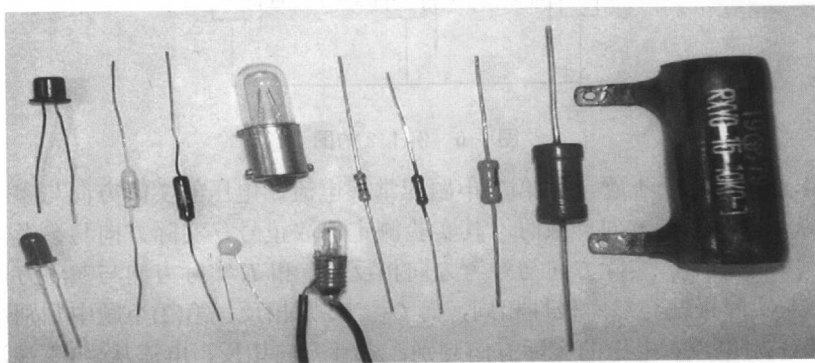


图 1.8 常见的电阻元件

电阻定律:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1.3)$$

式中:  $\rho$  ——制成电阻的材料电阻率,国际单位制单位为  $\Omega \cdot \text{m}$  (欧[姆]米);

$l$  ——绕制成电阻的导线长度,国际单位制为  $\text{m}$ (米);

$S$  ——绕制成电阻的导线横截面积,国际单位制为  $\text{m}^2$ (平方米);

$R$  ——电阻值,国际单位制为  $\Omega$ (欧[姆])。

经常用的电阻单位还有  $\text{k}\Omega$ (千欧)、 $\text{M}\Omega$ (兆欧),它们与  $\Omega$  的换算关系为

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

电阻的倒数  $1/R=G$ ,称为电导,它的单位为  $\text{S}$ (西[门子])。

欧姆定律:导体中的电流  $I$  与加在导体两端的电压  $U$  成正比,与导体的电阻  $R$  成反比。

### 1.2.1 一段电路的欧姆定律

图 1.9 所示电路,是只含有电阻的一段电路。

若  $U$  与  $I$  正方向一致,则欧姆定律可表示为

$$U = IR \quad (1.4)$$

若  $U$  与  $I$  方向相反,则欧姆定律表示为

$$U = -IR \quad (1.5)$$

### 1.2.2 全电路的欧姆定律

图 1.10 所示是简单的闭合电路,  $R_0$  为电源内阻,  $R_L$  为负载电阻,若略去导线电阻不计,则此段电路用欧姆定律表示为

$$I = \frac{E}{R_L + R_0} \quad (1.6)$$

式(1.6)的意义是：电路中流过的电流，其大小与电动势成正比，而与电路的全部电阻成反比。电源的电动势和内电阻一般认为是不变的，所以，改变外电路电阻，就可以改变回路中的电流大小。

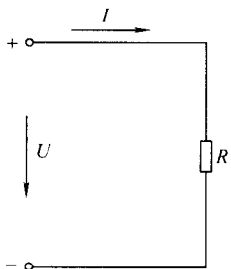


图 1.9 一段电路的欧姆定律

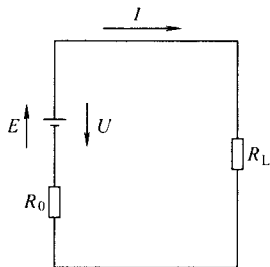


图 1.10 闭合电路的欧姆定律

**【例 1.3】** 如图 1.11 所示，当单刀双掷开关 S 合到位置 1 时，外电路的电阻  $R_1 = 14 \Omega$ ，测得电流表读数  $I_1 = 0.2 \text{ A}$ ；当开关 S 合到位置 2 时，外电路的电阻  $R_2 = 9 \Omega$ ，测得电流表读数  $I_2 = 0.3 \text{ A}$ ；试求电源的电动势  $E$  及其内阻  $r$ 。

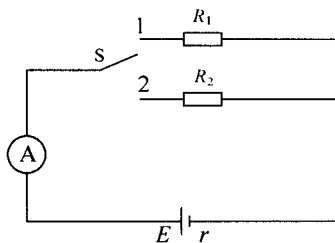


图 1.11 例 1.3 的图

**解：**根据闭合电路的欧姆定律，列出联立方程组

$$\begin{cases} E = R_1 I_1 + r I_1 & (\text{当 } S \text{ 合到位置 1 时}) \\ E = R_2 I_2 + r I_2 & (\text{当 } S \text{ 合到位置 2 时}) \end{cases}$$

解得： $r = 1 \Omega$ ， $E = 3 \text{ V}$ 。

本例题给出了一种测量直流电源电动势  $E$  和内阻  $r$  的方法。

### 1.2.3 线性电阻和非线性电阻

电阻值  $R$  与通过它的电流  $I$  和两端电压  $U$  无关(即  $R = \text{常数}$ )的电阻元件叫做线性电阻，其伏安特性曲线在  $I-U$  平面坐标系中为一条通过原点的直线，如图 1.12 所示。

电阻值  $R$  与通过它的电流  $I$  和两端电压  $U$  有关(即  $R \neq \text{常数}$ )的电阻元件叫做非线性电阻，其伏安特性曲线在  $I-U$  平面坐标系中为一条通过原点的曲线，如图 1.13 所示。

通常所说的“电阻”，如不作特殊说明，均指线性电阻。

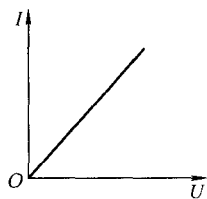


图 1.12 线性电阻的伏安特性



图 1.13 非线性电阻的伏安特性

## 1.2.4 电阻电路的连接

由于工作的需要,常将许多电阻按不同的方式连接起来,组成一个电路网络。

### 1. 电阻的串联

由若干个电阻顺序地连接成一条无分支的电路,称为串联电路。如图 1.14 所示电路,是由三个电阻串联组成的。

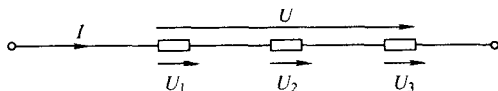


图 1.14 电阻串联电路

设总电压为  $U$ 、电流为  $I$ 、总功率为  $P$ 。

- (1) 等效电阻:  $R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$
- (2) 分压关系:  $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} = \frac{U}{R} = I$
- (3) 功率分配:  $\frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n} = \frac{P}{R} = I^2$

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

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (1.7)$$

**【例 1.4】** 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  $U_n = 3\text{V}$  的电压表,应该串联一只多大的分压电阻  $R$ ?

**解:** 该电流表的电压量程为  $U_g = R_g I_g = 0.1\text{V}$ ,与分压电阻  $R$  串联后的总电压  $U_n = 3\text{V}$ ,即将电压量程扩大到  $n = U_n / U_g = 30$  倍。

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

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