

应用型本科 机电类专业“十三五”规划教材

# 电工电子技术及应用

主 编 卢军锋

副主编 范 凯 李永琳

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

应用型本科 机电类专业“十三五”规划教材

# 电工电子技术及应用

主 编 卢军锋

副主编 范 凯 李永琳

参 编 杭阿芳 张 奔 王卓君

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是按照教育部高等院校“电工学”课程指导组拟定的教学基本要求,结合应用型本科院校教学需求及特点,以基本知识、基本理论为主线,以注重应用能力与实践能力的培养为目的编写而成的。

全书共分14章,内容包括电路的基本概念、基本定律和基本元件,电路的分析方法,正弦交流电路,三相交流电路,一阶瞬态电路分析,磁路与铁芯线圈电路,电动机及其控制,常见半导体器件及应用,基本交流放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,电力电子器件及应用,门电路与组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路。

本书可作为高等院校机电类专业及相关专业教材,也可供相关工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术及应用/卢军锋主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2017.2  
ISBN 978-7-5606-4412-7

I. ①电… II. ①卢… III. ①电工技术 ②电子技术  
IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 023313 号

策划编辑 马乐惠

责任编辑 武翠琴 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2017年2月第1版 2017年2月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 21

字 数 496千字

印 数 1~3000册

定 价 38.00元

ISBN 978-7-5606-4412-7/TM

**XDUP 4704001-1**

\* \* \* 如有印装问题可调换 \* \* \*

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

**西安电子科技大学出版社**  
**应用型本科 机电类专业“十三五”规划教材**  
**编审专家委员名单**

**主 任:** 张 杰(南京工程学院 机械工程学院 院长/教授)

**副主任:** 杨龙兴(江苏理工学院 机械工程学院 院长/教授)

张晓东(皖西学院 机电学院 院长/教授)

陈 南(三江学院 机械学院 院长/教授)

花国然(南通大学 机械工程学院 副院长/教授)

杨 莉(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/教授)

庞兴华(南阳理工学院 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

**成 员:** (按姓氏拼音排列)

陈劲松(淮海工学院 机械学院 副院长/副教授)

郭兰中(常熟理工学院 机械工程学院 院长/教授)

高 荣(淮阴工学院 机械工程学院 副院长/教授)

胡爱萍(常州大学 机械工程学院 副院长/教授)

胡文金(重庆科技学院 电气与信息工程学院 教授)

何高法(重庆科技学院 机械与动力工程学院 院长助理/教授)

刘春节(常州工学院 机电工程学院 副院长/副教授)

刘 平(上海第二工业大学 机电工程学院机械系 系主任/教授)

刘振全(天津科技大学 电子信息与自动化学院 副院长/副教授)

茅 健(上海工程技术大学 机械工程学院 副院长/副教授)

王荣林(南理工泰州科技学院 机械工程学院 副院长/副教授)

王树臣(徐州工程学院 机电工程学院 副院长/教授)

王志奎(南阳理工学院 机械与汽车工程学院 系主任、教授)

吴 雁(上海应用技术学院 机械工程学院 副院长/副教授)

吴懋亮(上海电力学院 能源与机械工程学院 副院长/副教授)

许泽银(合肥学院 机械工程系 主任/副教授)

周扩建(金陵科技学院 机电工程学院 副院长/副教授)

周 海(盐城工学院 机械工程学院 院长/教授)

朱龙英(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)

朱协彬(安徽工程大学 机械与汽车工程学院 副院长/教授)

# 前 言

“电工电子技术”是高等院校非电类专业的基础课程，其目的是为学习后续专业课及开展实际工作提供技术基础。本教材围绕此目的，内容安排上突出基础性，增强先进性与应用性，全书具有如下特点：

(1) 强化基础理论，减少定量分析与计算。

本书着力体现应用型本科教育的特点，以基础理论扎实，应用能力强为宗旨。教材编写过程中在保证基础理论完整的情况下，注重实用性与新颖性，重点讲述工程中最实用的基本理论和设计方法，没有过多的电路公式推导与内部电路的分析过程。

(2) 重应用，紧密结合工程实际。

教材的编写注重学生工程应用能力的培养。书中各章在进行基础理论讲解后，尽可能地安排了与工程实际相近的例题或工程应用案例分析，同时在部分章节增加了电子仿真软件的应用，使学生能学以致用，在应用分析中加深对理论的理解。

(3) 精选内容，缩减篇幅。

随着应用型本科教学改革的深入，根据用人企业反馈以及教学学时精简的要求，需不断调整课程结构，优化教学内容，如在“一阶瞬态电路分析”一章中只讲解最为实用的“三要素法”，而省略“经典法”及推导过程。

全书适合 80~120 学时的学习，读者也可以根据专业的不同及专业课的需求自行取舍。

本书由南京金陵科技学院与南京三江学院联合编写，卢军锋(编写第 9、10 章及教材大纲与目录)担任主编，范凯(编写第 3、4、5 章)、李永琳(编写第 13 章和第 14 章的前三节)担任副主编。张奔编写第 1、2 章，王卓君编写第 6、7 章，杭阿芳编写第 8、11、12 章及第 14 章的第 4 节。

本书在编写过程中得到了南京金陵科技学院机电工程学院及南京三江学院领导与同事的帮助和支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

编 者

2016 年 9 月

# 目 录

## 第 1 章 电路的基本概念、基本定律和基本元件

|                     |    |
|---------------------|----|
| 1                   | 1  |
| 1.1 电路与电路图          | 1  |
| 1.1.1 电路的组成与功能      | 1  |
| 1.1.2 电路图           | 2  |
| 1.2 电路的基本物理量与工作状态   | 2  |
| 1.2.1 电流及其参考方向      | 2  |
| 1.2.2 电压及其参考方向      | 3  |
| 1.2.3 电路功率          | 3  |
| 1.2.4 电路工作状态        | 4  |
| 1.2.5 电气设备额定值       | 5  |
| 1.3 基尔霍夫定律          | 5  |
| 1.3.1 常用术语          | 5  |
| 1.3.2 基尔霍夫电流定律      | 6  |
| 1.3.3 基尔霍夫电压定律      | 6  |
| 1.4 电压源与电流源         | 7  |
| 1.4.1 理想电压源         | 7  |
| 1.4.2 理想电流源         | 7  |
| 1.4.3 电压源与电流源的等效    | 8  |
| 1.5 电位的计算与应用        | 9  |
| 1.6 电阻              | 10 |
| 1.6.1 电阻的定义         | 10 |
| 1.6.2 电阻的参数         | 10 |
| 1.6.3 欧姆定律          | 11 |
| 1.6.4 电阻的串联、并联及等效变换 | 11 |
| 1.7 电容              | 13 |
| 1.7.1 电容的定义         | 13 |
| 1.7.2 电容的参数         | 14 |
| 1.8 电感              | 14 |
| 1.8.1 电感的定义         | 14 |
| 1.8.2 电感的参数         | 15 |
| 习题 1                | 15 |

## 第 2 章 电路的分析方法

|           |    |
|-----------|----|
| 2.1 支路电流法 | 19 |
| 2.2 节点电压法 | 20 |

|          |    |
|----------|----|
| 2.3 叠加定理 | 21 |
|----------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 2.4 戴维南定理与诺顿定理 | 23 |
|----------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 2.4.1 戴维南定理 | 24 |
|-------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 2.4.2 诺顿定理 | 25 |
|------------|----|

|      |    |
|------|----|
| 习题 2 | 26 |
|------|----|

## 第 3 章 正弦交流电路

|                |    |
|----------------|----|
| 3.1 正弦交流电的基本概念 | 29 |
|----------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 3.1.1 有效值与幅值 | 29 |
|--------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 3.1.2 周期与频率 | 30 |
|-------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 3.1.3 相位与相位差 | 31 |
|--------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 3.2 正弦量的相量表示 | 32 |
|--------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 3.2.1 复数的表示形式及运算 | 32 |
|------------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 3.2.2 正弦量的相量表示 | 34 |
|----------------|----|

|                       |  |
|-----------------------|--|
| 3.3 电阻、电感、电容在交流电路中的特征 |  |
|-----------------------|--|

|       |    |
|-------|----|
| 方程及功率 | 36 |
|-------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 3.3.1 纯电阻元件 | 36 |
|-------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 3.3.2 纯电感元件 | 38 |
|-------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 3.3.3 纯电容元件 | 40 |
|-------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 3.4 电阻、电感与电容串联的交流电路 | 42 |
|---------------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 3.4.1 电压与电流的关系 | 42 |
|----------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 3.4.2 电路中的功率 | 44 |
|--------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 3.5 正弦交流电路的一般分析方法 | 46 |
|-------------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 3.5.1 相量形式的基尔霍夫定律 | 46 |
|-------------------|----|

|                |    |
|----------------|----|
| 3.5.2 阻抗的串联与并联 | 47 |
|----------------|----|

|            |    |
|------------|----|
| 3.5.3 应用举例 | 48 |
|------------|----|

|              |    |
|--------------|----|
| 3.6 电路的谐振及应用 | 50 |
|--------------|----|

|               |    |
|---------------|----|
| 3.6.1 串联谐振及应用 | 50 |
|---------------|----|

|               |    |
|---------------|----|
| 3.6.2 并联谐振及应用 | 51 |
|---------------|----|

|             |    |
|-------------|----|
| 3.7 功率因数的提高 | 53 |
|-------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 3.7.1 提高功率因数的意义 | 53 |
|-----------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 3.7.2 提高功率因数的理论方法 | 53 |
|-------------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 3.7.3 提高功率因数的工程应用 | 54 |
|-------------------|----|

|           |    |
|-----------|----|
| 3.8 日光灯电路 | 54 |
|-----------|----|

|      |    |
|------|----|
| 习题 3 | 56 |
|------|----|

|                               |    |                              |     |
|-------------------------------|----|------------------------------|-----|
| 第4章 三相交流电路 .....              | 59 | 6.3.2 特殊变压器 .....            | 99  |
| 4.1 三相交流电源 .....              | 59 | 习题6 .....                    | 101 |
| 4.1.1 三相交流电源的产生 .....         | 59 | 第7章 电动机及其控制 .....            | 103 |
| 4.1.2 三相交流电源的连接 .....         | 60 | 7.1 三相异步电动机的结构与工作原理 .....    | 103 |
| 4.2 负载的星形连接 .....             | 61 | 7.1.1 三相异步电动机的结构 .....       | 103 |
| 4.2.1 负载星形连接电路的电压电流关系 .....   | 62 | 7.1.2 三相异步电动机的工作原理 .....     | 105 |
| 4.2.2 负载星形连接电路的故障分析 .....     | 65 | 7.2 异步电动机的参数和铭牌 .....        | 108 |
| 4.3 负载三角形连接 .....             | 66 | 7.3 三相异步电动机的继电器控制 .....      | 109 |
| 4.4 三相电路的功率计算 .....           | 67 | 7.3.1 常用控制电器 .....           | 109 |
| 4.5 安全用电 .....                | 68 | 7.3.2 电动机基本控制线路 .....        | 112 |
| 4.5.1 电流对人体的危害 .....          | 68 | 7.4 三速异步电动机启动和自动加速控制电路 ..... | 115 |
| 4.5.2 触电的方式 .....             | 68 | 7.4.1 工作原理 .....             | 115 |
| 4.5.3 工程应用中设备的接地与接零 .....     | 68 | 7.4.2 安装指导 .....             | 116 |
| 4.5.4 电气火灾及防火措施 .....         | 70 | 习题7 .....                    | 116 |
| 习题4 .....                     | 71 | 第8章 常见半导体器件及应用 .....         | 118 |
| 第5章 一阶瞬态电路分析 .....            | 73 | 8.1 半导体基础知识 .....            | 118 |
| 5.1 瞬态电路的基本概念与换路定则 .....      | 73 | 8.1.1 本征半导体 .....            | 118 |
| 5.1.1 瞬态电路的基本概念 .....         | 73 | 8.1.2 杂质半导体 .....            | 119 |
| 5.1.2 换路定则与初始值计算 .....        | 74 | 8.1.3 PN结的形成及特性 .....        | 120 |
| 5.1.3 一阶RC电路瞬态过程简介 .....      | 75 | 8.2 半导体二极管 .....             | 122 |
| 5.1.4 一阶RL电路瞬态过程简介 .....      | 76 | 8.2.1 二极管的基本结构与分类 .....      | 122 |
| 5.2 瞬态电路的三要素分析法 .....         | 77 | 8.2.2 二极管的伏安特性与基本参数 .....    | 123 |
| 5.3 RC瞬态电路的应用 .....           | 81 | 8.2.3 二极管的命名及选用 .....        | 124 |
| 5.3.1 微分电路 .....              | 81 | 8.2.4 二极管的测量与判别 .....        | 125 |
| 5.3.2 积分电路 .....              | 83 | 8.3 二极管的应用 .....             | 126 |
| 5.4 工程中对RL瞬态电路“放电”的应对方法 ..... | 84 | 8.3.1 普通二极管的应用举例 .....       | 126 |
| 5.5 RC电路的工程应用 .....           | 85 | 8.3.2 整流二极管及其应用 .....        | 128 |
| 习题5 .....                     | 88 | 8.3.3 稳压二极管及其应用 .....        | 129 |
| 第6章 磁路与铁芯线圈电路 .....           | 90 | 8.3.4 发光二极管及其应用 .....        | 132 |
| 6.1 磁路 .....                  | 90 | 8.3.5 光敏二极管及其应用 .....        | 134 |
| 6.1.1 磁场的基本物理量 .....          | 91 | 8.3.6 变容二极管及其应用 .....        | 135 |
| 6.1.2 磁性材料的磁性能 .....          | 92 | 8.4 半导体三极管 .....             | 136 |
| 6.1.3 磁路的分析方法 .....           | 94 | 8.4.1 三极管的基本结构与分类 .....      | 136 |
| 6.2 交流铁芯线圈电路 .....            | 94 | 8.4.2 三极管的电流放大作用 .....       | 137 |
| 6.2.1 交流铁芯线圈电磁关系 .....        | 95 | 8.4.3 三极管的特性曲线 .....         | 138 |
| 6.2.2 交流铁芯线圈电压电流关系 .....      | 95 | 8.4.4 三极管的主要参数 .....         | 140 |
| 6.2.3 功率损耗 .....              | 96 | 8.4.5 三极管的命名及选用 .....        | 141 |
| 6.3 变压器 .....                 | 96 | 8.4.6 三极管的测量与判别 .....        | 142 |
| 6.3.1 变压器的工作原理 .....          | 96 | 8.5 三极管的应用 .....             | 143 |
|                               |    | 8.5.1 普通三极管的应用举例 .....       | 143 |

|                                        |     |                                     |     |
|----------------------------------------|-----|-------------------------------------|-----|
| 8.5.2 达林顿管及其应用 .....                   | 144 | 第 10 章 集成运算放大器 .....                | 178 |
| 8.5.3 光敏三极管及其应用 .....                  | 145 | 10.1 集成运算放大器概述 .....                | 178 |
| 8.6 场效应管 .....                         | 146 | 10.1.1 集成运算放大器的符号、外形与<br>主要参数 ..... | 178 |
| 8.6.1 场效应管的基本结构与<br>工作原理 .....         | 146 | 10.1.2 理想集成运算放大器的分析 .....           | 179 |
| 8.6.2 场效应管的特性曲线 .....                  | 148 | 10.2 集成运算放大器在信号运算电路中的<br>应用 .....   | 180 |
| 8.6.3 场效应管的主要参数 .....                  | 148 | 10.2.1 比例运算电路 .....                 | 180 |
| 8.6.4 场效应管与双极型三极管的对比 ..                | 148 | 10.2.2 加法运算电路 .....                 | 182 |
| 8.7 仿真实验 .....                         | 149 | 10.2.3 减法运算电路 .....                 | 182 |
| 习题 8 .....                             | 150 | 10.2.4 积分运算电路 .....                 | 183 |
| 第 9 章 基本交流放大电路 .....                   | 154 | 10.3 放大电路中的负反馈 .....                | 184 |
| 9.1 基本放大电路的组成及各元件的作用<br>.....          | 154 | 10.3.1 负反馈的概念 .....                 | 184 |
| 9.1.1 基本放大电路的组成 .....                  | 154 | 10.3.2 反馈的判别方法 .....                | 184 |
| 9.1.2 放大电路中各元件的作用 .....                | 155 | 10.3.3 反馈对电路的作用 .....               | 186 |
| 9.1.3 放大电路的常用性能指标 .....                | 155 | 10.4 集成运算放大器在电子测量电路中的<br>应用 .....   | 186 |
| 9.2 放大电路的静态分析 .....                    | 156 | 10.4.1 电压测量电路 .....                 | 186 |
| 9.2.1 直流通路法静态分析 .....                  | 156 | 10.4.2 微电流测量电路 .....                | 187 |
| 9.2.2 图解法静态分析 .....                    | 156 | 10.4.3 微信号放大电路 .....                | 187 |
| 9.3 放大电路的动态分析 .....                    | 157 | 10.5 电压比较器及其在电子控制系统中的<br>应用 .....   | 188 |
| 9.3.1 图解法动态分析 .....                    | 158 | 10.5.1 电压比较器分类 .....                | 188 |
| 9.3.2 微变等效法动态分析 .....                  | 160 | 10.5.2 电压比较器应用 .....                | 189 |
| 9.4 静态工作点的设置与稳定方法 .....                | 162 | 10.6 集成运算放大器在波形产生电路中的<br>应用 .....   | 190 |
| 9.4.1 静态工作点的设置 .....                   | 162 | 10.6.1 正弦振荡的基本知识 .....              | 190 |
| 9.4.2 常用静态工作点稳定电路——分压式<br>偏置放大电路 ..... | 162 | 10.6.2 RC 正弦波振荡电路 .....             | 191 |
| 9.5 共集电极放大电路 .....                     | 164 | 10.7 集成运算放大器的使用注意事项 .....           | 192 |
| 9.6 多级放大电路的分析与计算 .....                 | 167 | 10.8 运算放大器应用实例 .....                | 193 |
| 9.7 差动放大电路 .....                       | 169 | 习题 10 .....                         | 195 |
| 9.7.1 差动放大电路抑制零漂的原理 .....              | 170 | 第 11 章 直流稳压电源 .....                 | 199 |
| 9.7.2 差动放大电路的工作原理 .....                | 170 | 11.1 直流稳压电源的组成 .....                | 199 |
| 9.7.3 共模抑制比 .....                      | 171 | 11.2 整流电路的分类及原理 .....               | 199 |
| 9.8 功率放大电路 .....                       | 171 | 11.2.1 单相半波整流电路 .....               | 200 |
| 9.9 三极管放大电路在电子设备中的应用 ..                | 172 | 11.2.2 单相桥式整流电路 .....               | 201 |
| 9.9.1 汽车搭铁探测器电路 .....                  | 172 | 11.2.3 常见整流电路总结 .....               | 203 |
| 9.9.2 电动机绕组磁极检测电路 .....                | 173 | 11.3 滤波电路的分类及原理 .....               | 204 |
| 9.10 三极管开关电路在电子设备中的<br>应用 .....        | 173 | 11.3.1 电容滤波电路 .....                 | 205 |
| 9.10.1 H 桥电机驱动电路 .....                 | 174 | 11.3.2 电感滤波电路 .....                 | 207 |
| 9.10.2 喷油控制电路 .....                    | 175 | 11.3.3 电感电容滤波电路 .....               | 207 |
| 习题 9 .....                             | 175 | 11.3.4 $\pi$ 型滤波电路 .....            | 207 |

|                                |     |                                |     |
|--------------------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 11.4 稳压电路的分类及原理 .....          | 208 | 13.4.4 三态门电路及应用 .....          | 258 |
| 11.4.1 稳压二极管稳压电路 .....         | 208 | 13.5 门电路的应用举例 .....            | 259 |
| 11.4.2 三端集成稳压器稳压电路 .....       | 210 | 13.6 集成电路应用注意事项 .....          | 261 |
| 11.4.3 开关型稳压电路 .....           | 213 | 13.7 逻辑代数及其化简 .....            | 261 |
| 11.5 仿真实验 .....                | 215 | 13.7.1 基本运算法则 .....            | 262 |
| 习题 11 .....                    | 216 | 13.7.2 逻辑函数的表示 .....           | 262 |
|                                |     | 13.7.3 逻辑函数的化简 .....           | 265 |
| <b>第 12 章 电力电子器件及应用</b> .....  | 219 | 13.8 组合逻辑电路的分析与设计 .....        | 267 |
| 12.1 常见电力电子器件 .....            | 219 | 13.8.1 组合逻辑电路的分析 .....         | 267 |
| 12.1.1 普通晶闸管 .....             | 219 | 13.8.2 组合逻辑电路的设计 .....         | 268 |
| 12.1.2 双向晶闸管 .....             | 222 | 13.9 常用的组合逻辑电路原理及应用 .....      | 270 |
| 12.1.3 电力场效应晶体管 .....          | 225 | 13.9.1 编码器原理及应用 .....          | 270 |
| 12.1.4 绝缘栅双极型晶体管 .....         | 227 | 13.9.2 译码器原理及应用 .....          | 273 |
| 12.2 电力电子四种典型应用电路 .....        | 228 | 13.9.3 数据选择器原理及应用 .....        | 278 |
| 12.2.1 相控整流电路 .....            | 228 | 13.9.4 数据分配器原理及应用 .....        | 280 |
| 12.2.2 相控逆变电路 .....            | 231 | 习题 13 .....                    | 281 |
| 12.2.3 相控调压电路 .....            | 232 |                                |     |
| 12.2.4 相控斩波电路 .....            | 233 | <b>第 14 章 触发器和时序逻辑电路</b> ..... | 284 |
| 12.3 实用电路举例 .....              | 234 | 14.1 双稳态触发器 .....              | 284 |
| 12.3.1 可调速吸尘器电路 .....          | 234 | 14.1.1 基本 RS 触发器 .....         | 284 |
| 12.3.2 一种简明过电流保护电路 .....       | 235 | 14.1.2 可控 RS 触发器 .....         | 285 |
| 12.3.3 一种灶具自动点火电路 .....        | 236 | 14.1.3 JK 触发器 .....            | 287 |
| 12.3.4 简易快速充电器电路 .....         | 236 | 14.1.4 D 触发器 .....             | 289 |
| 12.3.5 简易恒温控制电路 .....          | 237 | 14.2 寄存器 .....                 | 290 |
| 12.4 仿真实验 .....                | 238 | 14.2.1 数码寄存器 .....             | 290 |
| 习题 12 .....                    | 239 | 14.2.2 移位寄存器 .....             | 291 |
|                                |     | 14.3 计数器 .....                 | 293 |
| <b>第 13 章 门电路与组合逻辑电路</b> ..... | 241 | 14.3.1 同步计数器 .....             | 294 |
| 13.1 数字电路基础知识 .....            | 241 | 14.3.2 异步计数器 .....             | 298 |
| 13.1.1 脉冲的概念 .....             | 241 | 14.3.3 集成计数器芯片的应用 .....        | 300 |
| 13.1.2 数制与码制 .....             | 242 | 14.4 555 定时器原理及应用 .....        | 305 |
| 13.2 基本逻辑门电路 .....             | 246 | 14.4.1 555 定时器的结构及原理 .....     | 305 |
| 13.2.1 基本逻辑关系概述 .....          | 246 | 14.4.2 555 定时器构成的单稳态电路 .....   | 306 |
| 13.2.2 基本逻辑门电路 .....           | 247 | 14.4.3 555 定时器构成的多谐振荡器 .....   | 308 |
| 13.2.3 基本逻辑门电路的组合 .....        | 249 | 14.4.4 555 定时器构成的实用电路举例 .....  | 309 |
| 13.3 集成电路的基本知识与识别 .....        | 252 | 14.4.5 仿真实验 .....              | 311 |
| 13.3.1 集成电路的命名与分类 .....        | 252 | 习题 14 .....                    | 312 |
| 13.3.2 集成电路的封装与识别 .....        | 253 |                                |     |
| 13.4 集成复合门电路 .....             | 255 | <b>习题答案</b> .....              | 316 |
| 13.4.1 集成复合门电路的分类 .....        | 255 |                                |     |
| 13.4.2 TTL“与非”门电路 .....        | 255 | <b>参考文献</b> .....              | 326 |
| 13.4.3 CMOS“与非”门电路 .....       | 258 |                                |     |

# 第1章 电路的基本概念、基本定律和基本元件

电路是电工技术和电子技术的基础。本章将介绍电路中的基本物理量、基本概念和基本定律以及电路中常用的一些基本元器件,着重讨论电流和电压的参考方向、基尔霍夫定律及电路等效原理等。通过本章内容的学习,可了解和掌握电路中的基本概念和定律,为本课程后续学习打下基础。

## 1.1 电路与电路图

### 1.1.1 电路的组成与功能

电路(Electrical Circuit)或称电子回路,是由电气设备和元器件按一定方式连接起来为电荷流通提供路径的总体,也叫电子线路或称电气回路,简称网络或回路。

根据流过的电流性质,电路一般可以分为两种。直流电通过的电路称为直流电路,交流电通过的电路称为交流电路。

根据电路的作用,电路一般也可以分为两类。一类用于实现电能的传输和转换,如图1.1.1所示,其中包括电源、负载和中间环节三部分。

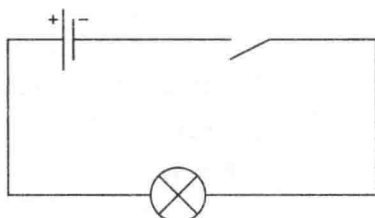


图 1.1.1 照明电路

图1.1.1中,电能由电源传输至电灯,并转换为内能。其中将电能转换为其他形式能量的元器件或设备统称为负载。这类电路由于电压较高,电流和功率较大,习惯上被称为“强电”电路。

另一类电路用于进行电信号的传递和处理,如图1.1.2所示的扩音器电路,话筒把声音转化成相应的电压或者电流,话筒是输出信号的设备,称为信号源,而转化成的电压或者电流称为电信号。经过放大处理后,通过电路传递给扬声器,再由扬声器还原为声音,扬声器是接收和转换信号的设备,称为负载。这类电路通常电压较低,电流和功率较小,习惯上被称为“弱电”电路。

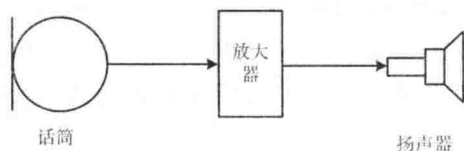


图 1.1.2 扩音器电路示意图

## 1.1.2 电路图

电路图是一种简化的电路图形表示。电路图是人们为研究、工程规划的需要,用物理电学标准化的符号绘制的一种表示各元器件组成及器件关系的原理布局图。电路图里各电子元件的位置并不反映它们在完成的实体电路上的位置。

实际电路由各种作用不同的电路元件或器件所组成,其元件种类繁多,且电磁性质较为复杂。为便于对实际电路进行分析和数学描述,需将实际电路元件用能够代表其主要电磁特性的理想元件或它们的组合来表示,称为实际电路元件的模型。反映具有单一电磁性质的实际器件的模型称为理想元件,包括电阻、电感、电容、电源等。

将实际电路模型化是研究电路问题的常用方法。图 1.1.3 中,电池对外提供电压的同时,内部也有电阻消耗能量,所以电池用其电动势  $E$  和内阻  $R_0$  的串联表示;电灯主要具有消耗电能的性质,可认为是电阻元件,用  $R$  表示;中间环节用直线来表示(包括开关),其电阻忽略不计。

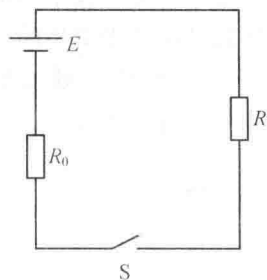


图 1.1.3 电路模型

## 1.2 电路的基本物理量与工作状态

电路中的基本物理量包括电流、电压、功率以及与之相关的一些概念。

### 1.2.1 电流及其参考方向

图 1.1.3 中,当开关合上时,电路中会有电荷移动形成电流。在电场的作用下,正电荷与负电荷向不同的方向移动,习惯上规定正电荷的移动方向为电流的方向。电流的大小为单位时间内通过导体横截面的电量,用公式表示为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.2.1)$$

式中,  $i$  表示电流,  $q$  表示电量或电荷量。规定 1 秒内通过导体横截面电量为 1 库仑时的电流为 1 安培。国际单位制中,  $q$  的单位为库仑(C), 电流的单位为安培(A)。常用的电流单位还有毫安(mA)、微安( $\mu$ A)。

不随时间改变的电流,称为直流电流(Direct Current, DC),通常用大写字母  $I$  表示;而随时间变化的电流,称为交流电流(Alternating Current, AC),用小写字母  $i$  表示。

习惯上规定正电荷的移动方向或者负电荷移动的相反方向为电流的方向,但分析复杂电路时,对于直流电路一般不能直接判断出某支路电流的实际方向,而交流电路因为方向随时间变化也无法给出实际方向,此时可以假定一个方向作为电路分析和计算时的参考,我们称之为电流的参考方向,参考方向并非一定和实际方向一致。在参考方向下,电流如果为正值,表明电流的实际方向与参考方向相同;如果为负值,则与之相反。电路中用箭头表示电流的参考方向。

### 1.2.2 电压及其参考方向

在电场中,某点电荷的电势能与其所带的电荷量(与正负有关,计算时将电势能和电荷的正负都带入,即可判断该点电势大小及正负)之比,叫做这点的电位(也可称电势)。

电压是描述电场力对电荷做功的物理量,它表示两点电位的差值,也称电位差(或电势差)。电压的单位是伏特(V),规定电场力把1库仑的正电荷从一点移到另一点所做的功为1焦耳时,这两点间的电压为1伏特。常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ )。通常直流电压用大写字母 $U$ 表示,交流电压用小写字母 $u$ 表示。

电动势是反映电源把其他形式的能转换成电能的本领的物理量。在电源内部,非静电力把正电荷从负极板移到正极板时要对电荷做功,这个做功的物理过程是产生电源电动势的本质。非静电力所做的功,反映了其他形式的能量有多少变成了电能。因此在电源内部,非静电力做功的过程是能量相互转化的过程。电动势使电源两端产生电压。在电路中,电动势常用 $E$ 表示,单位也是伏特(V)。

电路中,电压的实际方向定义为电位降低或称电压降的方向,可用极性“+”和“-”表示,其中“+”表示高电位,“-”表示低电位;也可用双下标表示,如 $U_{ab}$ 表示电压的方向由a到b。电源电动势的实际方向,规定为从电源内部的“-”极指向“+”极,即电位升高的方向。与电流分析相同,分析电路电压时需先假定电压的参考方向。选定电压的参考方向后,经分析计算得到的电压值也成为有正、负的代数量。在参考方向下,电压如果为正值,表明电压的实际方向与参考方向相同;如果为负值,则与之相反。电路中用箭头表示电压的参考方向。

### 1.2.3 电路功率

电流在单位时间内做的功叫做电路功率,简称功率。功率是用来表示消耗电能的快慢的物理量,用 $P$ 表示,它的单位是瓦特(W),简称瓦。

若某个元件的电流和电压分别为 $I$ 和 $U$ ,而且电流和电压的参考方向相关联,则功率

$$P = UI \quad (1.2.2)$$

在电压和电流参考方向关联时,根据式(1.2.2)计算的功率为正值表示该元件(或该段电路)吸收功率(即消耗电能或吸收电能);若为负值则表示输出功率(即送出电能)。习惯上对电源的电压和流过电源的电流采用非关联参考方向。

分析电路,需要判别哪个电路元件是电源(或起电源的作用),哪个电路元件是负载(或起负载的作用)。

根据电压和电流的实际方向可确定某一元件是电源还是负载:当元件的 $U$ 和 $I$ 的实际方向相反时,电流从“+”端流出,发出功率,则元件为电源;反之,当 $U$ 和 $I$ 的实际方向相同时,电流从“+”端流入,取用功率,则元件为负载。

根据电压、电流的参考方向也可以判别:当 $U$ 和 $I$ 的参考方向相同时,若 $P$ 为正值,取用功率,则元件为负载;若 $P$ 为负值,发出功率,则元件为电源。反之,当 $U$ 和 $I$ 的参考方向相反时,若 $P$ 为正值,发出功率,则元件为电源;若 $P$ 为负值,取用功率,则元件为负载。

下面我们通过图1.2.1所示电路中的四种情况来具体讨论。

图1.2.1(a)、(b)中,电压与电流的实际方向相反,则

$$P = 4 \times (-3) = -12 \text{ W} < 0$$

元件分别发出 12 W 的功率,均为电源。

图 1.2.1(c)、(d)中,电压与电流的实际方向相同,则

$$P=4 \times 3=12 \text{ W}>0$$

元件分别吸收 12 W 的功率,均为负载。

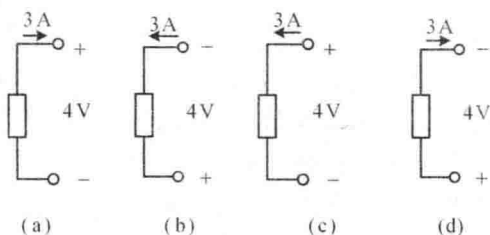


图 1.2.1 功率的计算

## 1.2.4 电路工作状态

电路在正常工作时,其工作状态分为电源有载工作、开路和短路三种。

将图 1.1.3 中的开关合上,接通电源与负载,这就是电源有载工作。电源有载工作时,利用欧姆定律可以列出电路中的电流

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1.2.3)$$

和电压

$$U = RI \quad (1.2.4)$$

由式(1.2.3)和式(1.2.4)可得

$$U = E - R_0 I \quad (1.2.5)$$

式(1.2.5)中,电源端电压小于电动势,且两者的差值等于电源内阻和电路电流的乘积,表明电路电流越大,则电源端电压下降得越多。

将图 1.1.3 中的开关断开,电源则处于开路状态,此时外电路的电阻对电源来说等于无穷大,所以此时电路的电流为零。而电源的端电压等于电源电动势,电源不输出电能。此时电路特征描述如下:

$$\begin{cases} I = 0 \\ U = U_0 = E \\ P = 0 \end{cases} \quad (1.2.6)$$

图 1.2.2 中,将电源的两端连接到一起,电源被短路。此时外电路电阻为零,整个电路中只有电源电阻  $R_0$ ,故电路电流很大,此电流称为短路电流  $I_s$ ;同时电源的端电压为零。此时电路特征描述如下:

$$\begin{cases} U = 0 \\ I_s = \frac{E}{R_0} \\ P = 0 \end{cases} \quad (1.2.7)$$

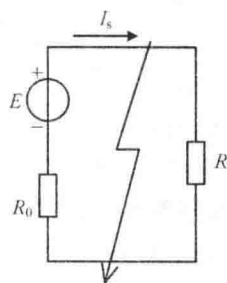


图 1.2.2 电源短路

在电路正常使用过程中,短路对电路的危害较大,应尽量避免。所以,对于电气设备及线路的绝缘检查就显得至关重要,它能够有效地防止短路的发生。

### 1.2.5 电气设备额定值

各种电气设备的电压、电流、功率等都有一个额定值。额定值是制造厂商为了使产品在给定的工作条件下正常运行而规定的正常允许值。电气设备的额定值一般标注在产品的铭牌上,在使用时应充分考虑额定功率。例如,一盏电灯的铭牌上标有 220 V 60 W,即电灯的额定电压为 220 V,额定功率为 60 W,使用时就不能将其接到 380 V 的电源上。

电气设备在正常使用时的电压、电流和功率并不一定等于其额定值。

**例 1.2.1** 有一盏 220 V 60 W 的电灯,接到 220 V 的电源上,试求通过电灯的电流和电灯在 220 V 电压下工作的电阻。若此时电网电压只有 210 V,求此时的电流和电阻。

**解** 电灯在 220 V 电压下工作时:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 0.273 \text{ A}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.273} = 806 \text{ } \Omega$$

电灯在 210 V 电压下工作时,电阻值不变,此时的工作电流:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{210}{806} = 0.261 \text{ A}$$

## 1.3 基尔霍夫定律

### 1.3.1 常用术语

基尔霍夫定律是电路中的基本定律,不仅适用于直流电路,也适用于交流电路。它包括基尔霍夫电流定律(简称 KCL)和基尔霍夫电压定律(简称 KVL)。基尔霍夫电流定律是针对节点的,基尔霍夫电压定律是针对回路的。在具体讲述基尔霍夫定律之前,我们以图 1.3.1 为例,介绍电路中的几个基本概念。

**节点:**三个或三个以上支路的连接点称为节点,如图 1.3.1 所示电路中的 a、b。

**支路:**连接两个节点之间的电路称为支路。例如,图 1.3.1 中的 ca、da、ba 等都是支路。

**回路:**电路中任一闭合路径称为回路。例如,图 1.3.1 中的 cabc、adba 都是回路。

每一条支路的电流称为支路电流,每两个节点之间的电压称为支路电压。在图 1.3.1 中各支路电流的参考方向均用箭头标出。

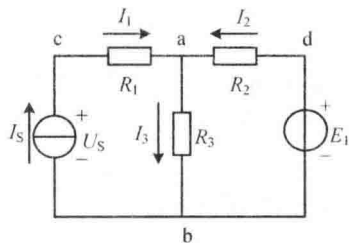


图 1.3.1 电路举例

### 1.3.2 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律(KCL)指出:对于电路中的任一节点,任一瞬时流入(或流出)该节点电流的代数和为零。我们可以选择电流流入时为正,流出时为负;或流出时为正,流入时为负。电流的这一性质也称为电流连续性原理,是电荷守恒的体现。

在直流电路里,KCL用公式表示为

$$\sum I = 0 \quad (1.3.1)$$

式(1.3.1)称为节点的电流方程。由此也可将 KCL 理解为流入某节点的电流之和等于流出该节点的电流之和。

以图 1.3.1 电路中的节点 a 为例,假设电流流入为正,流出为负,列出节点 a 的电流方程。对于节点 a,有  $I_1 + I_2 = I_3$ 。

KCL 不仅适用于电路中的任一节点,也可推广到包围部分电路的任一闭合面(因为可将任一闭合面缩为一个节点)。可以证明,流入或流出任一闭合面电流的代数和为零。这种闭合面有时称为广义节点,如图 1.3.2 所示的晶体管,就是一个广义节点,此时  $I_C + I_B = I_E$ 。

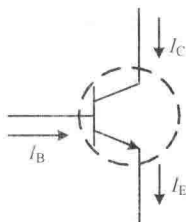


图 1.3.2 广义节点

### 1.3.3 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律(KVL)指出:对于电路中的任一回路,任一瞬时沿该回路绕行一周,则组成该回路的各段支路上的元件电压的代数和为零。可任意选择顺时针或逆时针的回路绕行方向,各元件电压的正、负与绕行方向有关。一般规定,当元件电压的方向与所选的回路绕行方向一致时为正,反之为负。

在直流电路里,KVL用公式表示为

$$\sum U = 0 \quad (1.3.2)$$

式(1.3.2)称为回路的电压方程。

例如,对于图 1.3.1 中的回路 cabc,有

$$U_S = I_1 R_1 + I_3 R_3$$

而对于回路 adba,有

$$E_1 = I_2 R_2 + I_3 R_3$$

注意应用 KVL 时,首先要标出电路各部分的电流、电压或电动势的参考方向。列电压方程时,一般约定电阻的电流方向和电压方向一致。

**例 1.3.1** 求图 1.3.3 中的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 。

**解** 选择回路1的绕行方向如图1.3.3中所示。

列节点a的电流方程：

$$I_1 + 1 = I_2$$

列回路1的电压方程：

$$30 - 8I_1 - 3I_2 = 0$$

解上面两个方程，得

$$I_1 = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = 2 \text{ A}$$

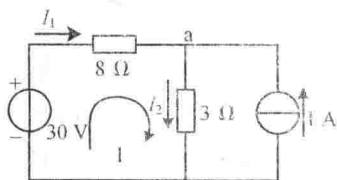


图 1.3.3 例 1.3.1 图

## 1.4 电压源与电流源

能向电路独立地提供电压、电流的器件或装置称为独立电源，如化学电池、太阳能电池、发电机、稳压电源、稳流电源等。一个电源可用两种不同的电路模型表示：用电压形式表示的，称为电压源；用电流形式表示的，称为电流源。

### 1.4.1 理想电压源

理想电压源的特点是能够提供确定的电压，即理想电压源的电压不随电路中电流的改变而改变，所以理想电压源也称恒压源。电池和发电机都可以近似看做恒压源，图1.4.1(a)为恒压源的符号。图中，恒压源两端的电压用  $U_s$  表示，方向从正极指向负极；电源内部的电动势用  $E_s$  表示时，方向从负极指向正极。

将元件的电压和电流关系用一个函数(如  $u = f(i)$ )表示时，称之为元件的伏安特性。电源对外的电压、电流关系一般又称为外特性。理想电压源的外特性曲线是一条与  $i$  轴平行的直线，如图1.4.1(b)所示。

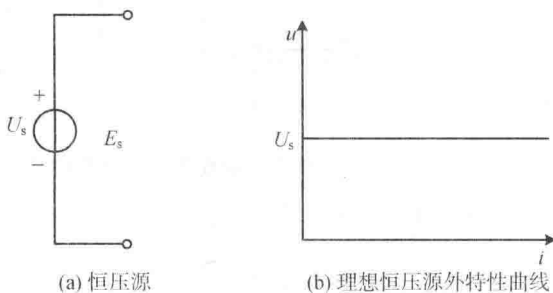


图 1.4.1 理想电压源

### 1.4.2 理想电流源

理想电流源的特点是能够提供确定的电流，即理想电流源的电流不随电路中电压的改变而改变，所以理想电流源也称恒流源。图1.4.2(a)是恒流源的模型符号，其中箭头指示电流的方向。

理想电流源的外特性曲线是一条与  $u$  轴平行的直线，如图1.4.2(b)所示。

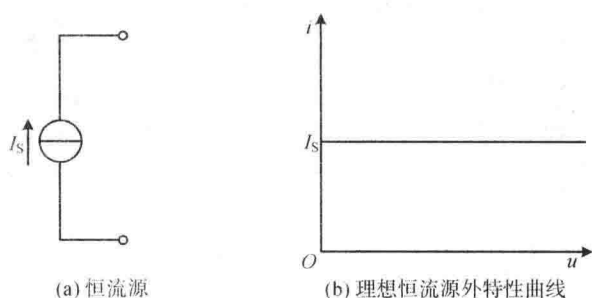


图 1.4.2 理想电流源

### 1.4.3 电压源与电流源的等效

一个实际的电源一般不具有理想电源的特性,即当外接电阻  $R$  变化时,电源提供的电压和电流都会发生变化。有的电源当外部负载电阻变化时输出电压波动很小,比较接近电压源的特性;而有的电源当外部负载电阻变化时输出电流波动较小,比较接近电流源的特性。

实际电源的特性可以用理想电源元件和电阻元件的组合来表征。图 1.4.3(a)中实际电源向外部电阻  $R$  输出电压  $U$  和电流  $I$ 。当  $R$  断开时,设  $U=U_s$ (称为开路电压)。当  $R$  减小时,  $I$  将增大,电源内阻  $R_0$  的电压也增加,输出电压  $U$  下降。因此可以采用电压源  $U_s$  和电阻  $R_0$  串联的模型来表示实际电源,如图 1.4.3(b)所示。

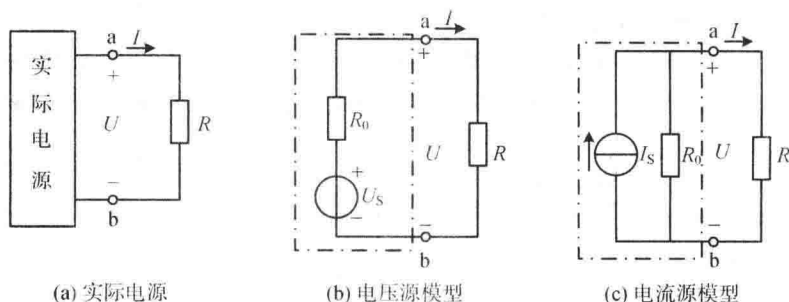


图 1.4.3 实际电源的电压源模型和电流源模型

图 1.4.3(b)电路中的电流、电压关系可表达为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (1.4.1)$$

$$U = RI = R \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (1.4.2)$$

在该电路中,也可以用电流源  $I_s$  和电阻  $R_0$  并联的模型来表征实际电源对  $R$  的作用,如图 1.4.3(c)所示。图 1.4.3(c)电路中的电流、电压关系可表达为

$$I = I_s \frac{R_0}{R_0 + R} \quad (1.4.3)$$

$$U = IR = I_s \frac{R_0 R}{R_0 + R} \quad (1.4.4)$$