

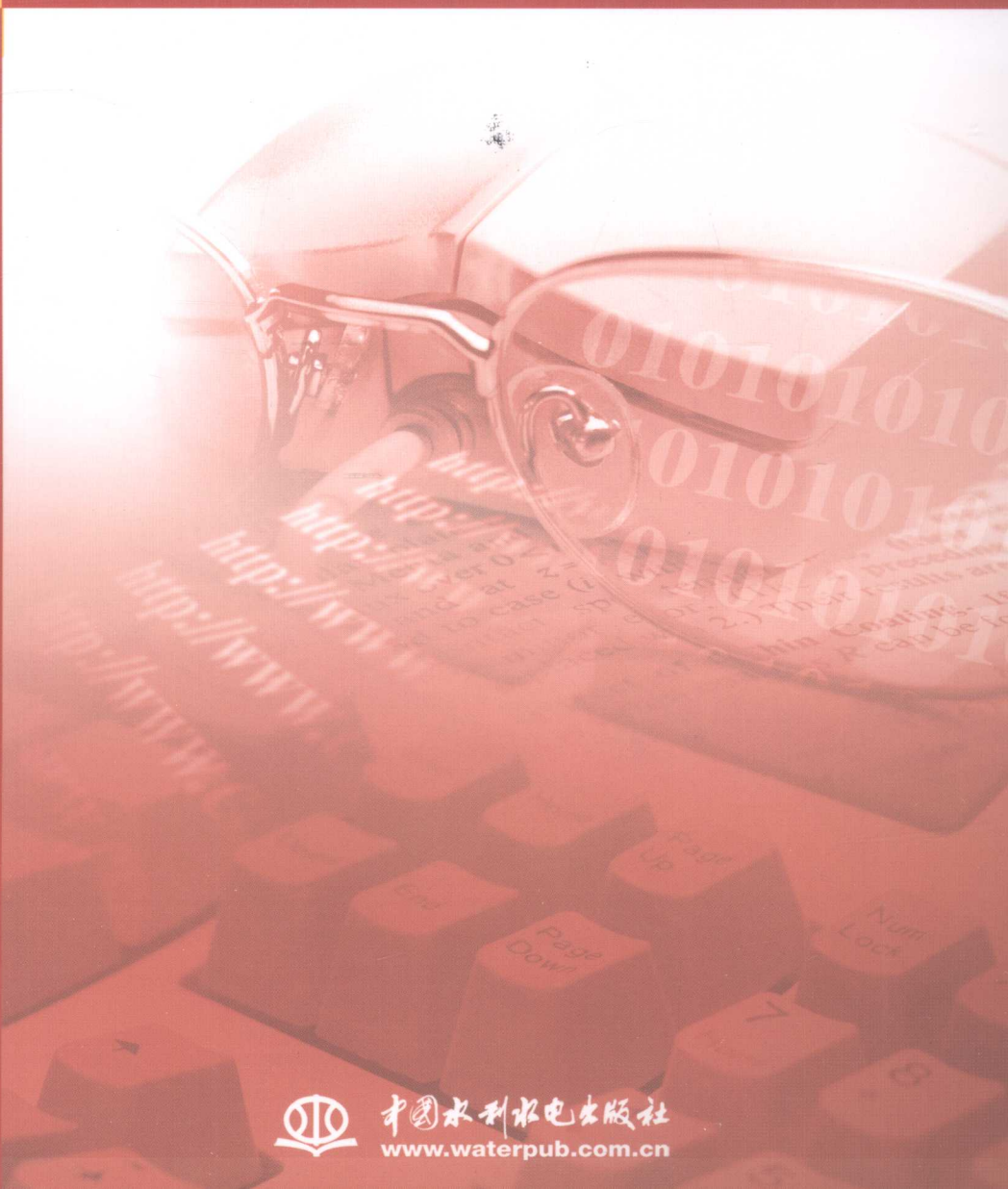
21

世纪高职高专规划教材

# 实用电工电子技术教程 (第二版)

主 编 艾建春 副主编 万贤铭 崔宏亮

21SHJIGAOZHIGAOZHIGUANGUIHUAJIAOCA



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

21 世纪高职高专规划教材

# 实用电工电子技术教程

## （第二版）

主 编 艾建春

副主编 万贤铭 崔宏亮



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

## 内 容 提 要

本书是《实用电工电子技术教程》第2版,依据教育部《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写,主要内容有直流电路分析技术、实用正弦交流电路、实用电工器材、实用半导体器件、实用三极管放大电路的原理和分析方法、实用基本集成器件及其应用、实用组合逻辑电路、实用时序逻辑电路,共8个教学章节。

本书充分体现了高职高专教学“理论联系实际”的特点,摒弃了烦琐的数学推导,突出了电工电子技术的实用性。改版时,增加了实用培训技术内容,删去了一些不实用的理论实验和章内例题,增补了章后部分习题的 EWB 仿真答案,形成本书的又一亮点。各章相互呼应,结构合理,内容深入浅出。

本书可作为高职高专院校非电专业电工电子技术课程的教材,也可供有关工程技术人员阅读。

本书配有电子教案,读者可以从中国水利水电出版社网站和万水书苑上免费下载,网址:  
<http://www.waterpub.com.cn/softdown/>和 [www.wanshuibookshow.com](http://www.wanshuibookshow.com)。

## 图书在版编目(CIP)数据

实用电工电子技术教程 / 艾建春主编. —2 版. —北京:  
中国水利水电出版社, 2009

21 世纪高职高专规划教材

ISBN 978-7-5084-6686-6

I. 实… II. 艾… III. ①电工技术—高等学校: 技术学校—教材②电子技术—高等学校: 技术学校—教材 IV. TM  
TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 126997 号

策划编辑: 石永峰 责任编辑: 张玉玲 封面设计: 李 佳

|      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 21 世纪高职高专规划教材<br>实用电工电子技术教程 (第二版)                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 作 者  | 主 编 艾建春 副主编 万贤铭 崔宏亮                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a><br>E-mail: <a href="mailto:mchannel@263.net">mchannel@263.net</a> (万水)<br><a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a><br>电话: (010) 68367658 (营销中心)、82562819 (万水) |
| 经 售  | 全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| 排 版  | 北京万水电子信息有限公司                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 印 刷  | 北京蓝空印刷厂                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 规 格  | 184mm×260mm 16 开本 19.25 印张 474 千字                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| 版 次  | 2007 年 8 月第 1 版<br>2009 年 8 月第 2 版 2009 年 8 月第 3 次印刷                                                                                                                                                                                                                                                |
| 印 数  | 7001—11000 册                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 定 价  | 29.80 元                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 序

近十年来,我国高等职业教育得到了快速发展,已成为高等教育的半壁江山,为我国经济、社会发展及区域经济统筹发展,为我国高等教育的大众化作出了重要贡献。《国务院关于大力发展职业教育的决定》中明确指出:要“坚持以服务为宗旨、以就业为导向”的办学方针,要进一步深化教育教学改革,大力推进精品专业、精品课程和教材建设。在党中央、国务院正确方针的指引下,各高职院校教材建设围绕培养高素质、高技能的实用型专门人才的目标,作了大胆探索,出版了一大批优质的适应高职院校教育教学实际的系列教材。《实用电工电子技术教程》作为21世纪高职高专规划教材也正是在这样的背景下应运而生的。

本教材由多年从事高职高专教育教学、具有丰富教育教学经验的艾建春教授任主编,各编著者也都是具有丰富高职高专教育教学经验的老师。他们根据教育部《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》,从现行高职院校的教学实际出发,突破系统理论的束缚,以实用技术为总纲,将电工电子技术的基础理论和实用知识、实用技术融为一体,构建模块教学系统,这是值得称赞的有益探索。

本教材在处理高职院校教育教学中常见的矛盾和问题方面体现了以下几个特点:

(1) 坚持理论够用、强化实践动手能力原则。以培养学生技能为主,将理论教学、问题分析、实验实训等优化整合成模块,将基础理论、实用知识和实用技能融为一体。

(2) 针对教学时数压缩、教学内容偏多的问题,删繁就简,突出实用,突出重点,精选教学内容,将理论教学、习题训练、实验实训等汇编成八章。每章都附有内容提要和小结,便于学生学习掌握。避免了本科教材“压缩饼干”式的弊端。

(3) 针对授课对象——现行高职学生基础较差的实际,避开烦琐的学生难以接受的理论推导,力求让学生会运用,乐于学习,易于接受。尤其是结合编者教学经验编入课堂讲授“方法点拨”,每章都有闪光点。

(4) 本教材亦为青年教师备课提供了示范。

基于以上几点,我很愿意把这本教材推荐给各位,以便共同探讨、共同实践,为构建符合我国高职教育教学实际的高水平优秀教材体系作出贡献。

华东交通大学原副校长、教授

沙国平

2007年8月8日

## 第二版前言

本书第二版是依据教育部《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》，融入用书学校对第一版反馈的宝贵意见和高职高专院校人才培养注重实践的新要求而编写的。2009年4月在江西南昌由第一版编委邀请、在江西旅游商贸学院举行了《实用电工电子技术教程》试用研讨会，会上各位主讲教师提供了各校使用本教材的反馈意见，重点讨论了第一版中的缺陷，提出了很多中肯的意见，在此基础上组成了第二版的新编委；奠定了第二版的编写思路，在保持原版的总体风格不变的前提下，作了如下修订：

(1) 统一各章实验的标题为“实用培训技术”，在此基础上要求实训内容更加面向生产实际，务必使学生通过实训学到真实的技能。

(2) 修订各章章内例题，删去一些单纯套用公式的简单题目和数学运算要求过高的题目。

(3) 统一各章章后实训一为“习题分析技术”，进一步强调应用基础知识解题是培养学生能力的一个重要方面。

(4) 为解决原版没有提供章后习题答案的问题，增加了部分习题的“EWB 仿真解题”内容，这样做的目的是既保留原版对学生的“独立思考，不依赖答案”的要求，又解决一部分难题的仿真解题示范，增加了一项技能培训。

(5) 修订了原版中第1、2章中的一些模糊的概念描述，补充了重要基本理论遗漏（如线性分析理论——“叠加原理”等）。

(6) 对4~6章在知识结构上进行了重组。

在第二版中，我们还极力使文字的叙述具有可读性，以吸引学生认真阅读教材。

第二版由艾建春任主编，万贤铭、崔宏亮任副主编，第1章和第3章由崔宏亮编写，第4章、第5章和第6章由万贤铭编写，第2章、第7章和第8章由艾建春编写，全书由艾建春教授统稿和审阅修订，并邀请了南昌理工学院万贤铭副教授参与审稿和定稿；参加部分编写工作的还有王天锡、徐礼长、王子樱、芦丹丹、艾龙等，廖银燕绘制了1、3、4、5章的电路图。仅向所有参与过本书编辑的教师和提供宝贵意见的主讲教师致以诚致的谢意！

由于编者水平有限，书中疏漏和错误之处仍在所难免，恳请广大读者批评指正，意见和建议可发邮箱 [jianchunai@163.com](mailto:jianchunai@163.com)。

编者

2009年6月

## 第一版前言

本书依据教育部《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写。全书将电工电子技术的基础理论和实用知识融为一体,从现行各高职院校的教学实践出发,打破系统理论的禁锢,以实用技术为全书的总纲,试图建立“电工电子技术”模块教学系统。

为了解决教学时“课程内容量大”和“实际课时偏少”之间的矛盾,在教学内容上进行了优化整合,删去了一些理论过重且不符合非电专业需要的内容,如电路的过渡过程、电路谐振、正弦波振荡器等;另外,为培养学生的动手能力,增加了实训环节。

针对现行高职学生基础较差的现实,教材的编写工作全部由高职教学第一线经验丰富的教师完成,编写思想遵循“理论是实践的指南针,实践是理论的试金石”的原则,努力使教材内容为学生易于接受,乐于学习,便于实践模仿。更为可贵的是在编写习题和例题时,加入了编写教师课堂讲授的“方法点拨”精华,让学生能够迅速解决学习上的难点,从而掌握一定的分析方法;本教材每章都具有闪光点,克服了同类教材在这方面的不足,也为青年教师的备课作出了示范。

本教材的参考教学时数为72学时(含实训教学28学时),实际教学中可根据各专业需要进行适当的调整。各章的演示实验和习题中的电路都可以用EWB进行仿真验证,教师在教学中应注意加强引导和示范。

本书由艾建春任主编,崔宏亮、王天锡、徐礼长副主编。第1章和第3章由崔宏亮编写,第2章和第6章由徐礼长编写,第4章和第5章由王天锡编写,第7章和第8章由艾建春编写,全书由艾建春教授统稿,廖乔奇副教授审阅了1、2、3、7、8章,廖银燕绘制了1、3、4、5章的电路图。参加本书部分编写工作的还有王子樱、芦丹丹、艾龙等,在此一并表示感谢!

由于编者水平有限及编写时间仓促,书中疏漏和错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2007年6月

# 目 录

序

第二版前言

第一版前言

|                         |    |                                  |    |
|-------------------------|----|----------------------------------|----|
| 第1章 直流电路分析技术.....       | 1  | 2.3.2 纯电感交流电路.....               | 34 |
| 1.1 电路分析的基础知识.....      | 1  | 2.3.3 纯电容交流电路.....               | 36 |
| 1.1.1 电路的作用与组成.....     | 1  | 2.4 电阻、电感、电容的串联电路.....           | 37 |
| 1.1.2 电路及电路模型.....      | 2  | 2.4.1 电压与电流的大小关系.....            | 38 |
| 1.2 电路中的基本物理量.....      | 2  | 2.4.2 $RLC$ 串联电路的性质.....         | 39 |
| 1.2.1 电流.....           | 2  | 2.4.3 $RLC$ 串联电路的功率.....         | 40 |
| 1.2.2 电压、电位及电动势.....    | 3  | 2.4.4 功率因数.....                  | 40 |
| 1.2.3 电功率.....          | 5  | 2.5 $RLC$ 并联电路.....              | 41 |
| 1.3 欧姆定律及基尔霍夫定律.....    | 6  | 2.5.1 总电流与电压的大小关系.....           | 41 |
| 1.3.1 欧姆定律.....         | 6  | 2.5.2 总电流与电压的相量关系及<br>电路的性质..... | 43 |
| 1.3.2 基尔霍夫定律.....       | 7  | 2.6 三相正弦交流电路.....                | 44 |
| 1.4 电压源与电流源.....        | 9  | 2.6.1 三相正弦交流电源的特点.....           | 44 |
| 1.4.1 电压源和电流源的定义.....   | 9  | 2.6.2 三相负载的连接.....               | 47 |
| 1.4.2 电压源和电流源的等效变换..... | 9  | 2.6.3 三相负载的功率.....               | 49 |
| 1.5 复杂电路分析基础.....       | 11 | 2.7 实训一：习题分析技术.....              | 51 |
| 1.5.1 电阻的串联.....        | 11 | 2.8 实训二：实用培训技术.....              | 53 |
| 1.5.2 电阻的并联.....        | 11 | 本章小结.....                        | 57 |
| 1.5.3 电阻的混联.....        | 12 | 习题二.....                         | 58 |
| 1.5.4 支路电流法.....        | 14 | 第3章 实用电工器材.....                  | 62 |
| 1.5.5 戴维南定理.....        | 14 | 3.1 变压器.....                     | 62 |
| 1.6 实训一：习题分析技术.....     | 15 | 3.1.1 变压器的原理和作用.....             | 62 |
| 1.7 实训二：实用培训技术.....     | 18 | 3.1.2 变压器在电路中的各种使用方式.....        | 64 |
| 本章小结.....               | 21 | 3.2 电动机.....                     | 67 |
| 习题一.....                | 22 | 3.2.1 三相异步电动机的基本结构.....          | 67 |
| 第2章 正弦交流电路分析技术.....     | 24 | 3.2.2 旋转磁场.....                  | 68 |
| 2.1 正弦交流电的基本概念.....     | 24 | 3.2.3 三相异步电动机转动原理及<br>转差率.....   | 70 |
| 2.2 正弦交流电的几种表示方法.....   | 26 | 3.2.4 三相异步电动机的控制电路.....          | 70 |
| 2.2.1 解析式表示法.....       | 26 | 3.3 异步电动机基本控制电路.....             | 75 |
| 2.2.2 波形图表示法.....       | 27 | 3.3.1 三相异步电动机的启动电路.....          | 76 |
| 2.2.3 相量及相量图表示法.....    | 28 | 3.3.2 三相异步电动机的正反转控制.....         | 77 |
| 2.3 单一参数的正弦交流电路.....    | 33 |                                  |    |
| 2.3.1 纯电阻交流电路.....      | 33 |                                  |    |

|                                   |            |                               |            |
|-----------------------------------|------------|-------------------------------|------------|
| 3.3.3 单相异步电动机的工作原理及控制电路 .....     | 77         | 5.1.1 放大电路的基本组成原则 .....       | 121        |
| 3.3.4 三相异步电动机的启动、调速、制动 .....      | 79         | 5.1.2 放大电路的分类 .....           | 123        |
| 3.4 电工测量 .....                    | 82         | 5.2 单管共发射极放大电路 .....          | 123        |
| 3.4.1 万用表 .....                   | 82         | 5.2.1 放大电路的主要技术指标 .....       | 124        |
| 3.4.2 单相功率表 .....                 | 84         | 5.2.2 共发射极放大电路的基本分析方法 .....   | 124        |
| 3.4.3 单相电度表 .....                 | 84         | 5.3 工作点稳定的共发射极放大电路 .....      | 129        |
| 3.5 实训一：习题分析技术 .....              | 85         | 5.3.1 温度对静态工作点的影响 .....       | 129        |
| 3.6 实训二：实用培训技术 .....              | 87         | 5.3.2 静态工作点稳定电路 .....         | 130        |
| 本章小结 .....                        | 91         | 5.4 共集电极放大电路的工作原理和分析 .....    | 133        |
| 习题三 .....                         | 92         | 5.5 负反馈放大电路 .....             | 135        |
| <b>第4章 实用半导体器件 .....</b>          | <b>94</b>  | 5.5.1 负反馈的基本概念 .....          | 135        |
| 4.1 半导体基础知识 .....                 | 94         | 5.5.2 反馈的分类 .....             | 136        |
| 4.1.1 本征半导体 .....                 | 94         | 5.5.3 负反馈放大电路的4种组态 .....      | 137        |
| 4.1.2 掺杂半导体 .....                 | 94         | 5.5.4 负反馈对放大电路性能的影响 .....     | 140        |
| 4.1.3 PN结 .....                   | 95         | 5.6 实训一：习题分析技术 .....          | 141        |
| 4.1.4 PN结的单向导电性 .....             | 95         | 5.7 实训二：实用培训技术 .....          | 146        |
| 4.2 半导体二极管及其应用 .....              | 95         | 本章小结 .....                    | 149        |
| 4.2.1 二极管的分类 .....                | 96         | 习题五 .....                     | 150        |
| 4.2.2 二极管的伏安特性 .....              | 96         | <b>第6章 实用基本集成器件及其应用 .....</b> | <b>154</b> |
| 4.2.3 二极管的主要参数 .....              | 97         | 6.1 集成运算放大电路的特点和基本组成 .....    | 154        |
| 4.2.4 普通二极管电路分析 .....             | 97         | 6.1.1 集成运算放大电路的特点 .....       | 154        |
| 4.2.5 稳压二极管及实际应用 .....            | 100        | 6.1.2 集成运放的基本组成部分 .....       | 155        |
| 4.3 双极型三极管 .....                  | 101        | 6.2 理想运算放大器 .....             | 156        |
| 4.3.1 三极管的结构和特点 .....             | 101        | 6.2.1 集成运放的主要技术指标 .....       | 156        |
| 4.3.2 三极管的电流放大原理 .....            | 102        | 6.2.2 理想运算放大器及特点 .....        | 157        |
| 4.3.3 三极管共发射极电路的特性曲线 .....        | 104        | 6.2.3 运放应用电路的分析步骤 .....       | 158        |
| 4.3.4 三极管的主要参数和选用方法 .....         | 106        | 6.3 集成运放在线性区的应用 .....         | 159        |
| 4.3.5 三极管的应用分析 .....              | 107        | 6.3.1 反相比例运算电路 .....          | 159        |
| 4.4 场效应三极管 .....                  | 109        | 6.3.2 同相比例运算电路 .....          | 160        |
| 4.4.1 场效应管的分类 .....               | 109        | 6.3.3 差分比例运算电路（减法运算电路） .....  | 161        |
| 4.4.2 MOS管的结构和工作原理 .....          | 109        | 6.3.4 反相输入求和电路 .....          | 162        |
| 4.5 实训一：习题分析技术 .....              | 112        | 6.4 直流稳压电源的组成及工作原理 .....      | 165        |
| 4.6 实训二：实用培训技术 .....              | 115        | 6.4.1 直流稳压电源的组成 .....         | 165        |
| 本章小结 .....                        | 117        | 6.4.2 滤波电路 .....              | 166        |
| 习题四 .....                         | 118        | 6.4.3 串联型稳压电路 .....           | 168        |
| <b>第5章 实用三极管放大器的原理和分析方法 .....</b> | <b>121</b> | 6.5 集成稳压电路 .....              | 171        |
| 5.1 放大电路的基本组成原则和分类 .....          | 121        | 6.5.1 固定式三端集成稳压器 .....        | 171        |

|                          |            |                                                          |            |
|--------------------------|------------|----------------------------------------------------------|------------|
| 6.5.2 可调式三端集成稳压器.....    | 172        | 8.4 时序逻辑电路的分析.....                                       | 238        |
| 6.6 实训一：习题分析技术.....      | 173        | 8.4.1 概述.....                                            | 238        |
| 6.7 实训二：实用培训技术.....      | 177        | 8.4.2 同步时序电路的分析方法.....                                   | 239        |
| 本章小结.....                | 180        | 8.4.3 集成同步计数器.....                                       | 242        |
| 习题六.....                 | 181        | 8.5 异步时序电路的分析.....                                       | 245        |
| <b>第7章 实用组合逻辑电路.....</b> | <b>185</b> | 8.5.1 异步计数器.....                                         | 245        |
| 7.1 基础知识.....            | 185        | 8.5.2 中规模集成计数器及其应用.....                                  | 246        |
| 7.1.1 数制与码制.....         | 185        | 8.6 555 定时器及其应用.....                                     | 249        |
| 7.1.2 逻辑代数基础.....        | 187        | 8.6.1 电路组成及工作原理.....                                     | 249        |
| 7.1.3 逻辑函数和基本逻辑门.....    | 189        | 8.6.2 555 定时器的应用.....                                    | 250        |
| 7.1.4 逻辑函数的化简.....       | 192        | 8.7 数/模转换和模/数转换.....                                     | 252        |
| 7.2 组合逻辑电路的分析方法.....     | 202        | 8.7.1 概述.....                                            | 252        |
| 7.2.1 SSI 组合逻辑电路的分析..... | 202        | 8.7.2 数/模转换器 (DAC).....                                  | 253        |
| 7.2.2 MSI 组合逻辑电路的分析..... | 203        | 8.7.3 集成 DAC 举例.....                                     | 255        |
| 7.2.3 组合逻辑电路的设计方法.....   | 206        | 8.7.4 模/数转换器 (ADC).....                                  | 257        |
| 7.3 实训一：习题分析技术.....      | 207        | 8.7.5 集成 ADC 举例——ADC0809.....                            | 260        |
| 7.3.1 问题分析.....          | 207        | 8.8 实训一：习题分析技术.....                                      | 261        |
| 7.3.2 典型电路.....          | 210        | 8.8.1 实用数字电路的分析要领.....                                   | 261        |
| 7.3.3 有关实际问题研究.....      | 211        | 8.8.2 计数器的应用实例.....                                      | 264        |
| 7.4 实训二：实用培训技术.....      | 211        | 8.9 实训二：实用培训技术.....                                      | 266        |
| 本章小结.....                | 220        | 本章小结.....                                                | 274        |
| 习题七.....                 | 221        | 习题八.....                                                 | 275        |
| <b>第8章 实用时序逻辑电路.....</b> | <b>224</b> | <b>附录1 部分习题的 EWB 仿真答案.....</b>                           | <b>278</b> |
| 8.1 触发器基础知识.....         | 224        | <b>附录2 半导体分立器件型号命名标准</b><br><b>(国家标准 GB249—74).....</b>  | <b>290</b> |
| 8.1.1 概述.....            | 224        | <b>附录3 半导体集成元件型号命名方法</b><br><b>(国家标准 GB3430—82).....</b> | <b>291</b> |
| 8.1.2 基本 RS 触发器.....     | 224        | <b>附录4 部分集成运放技术指标.....</b>                               | <b>292</b> |
| 8.1.3 触发器的逻辑功能描述.....    | 226        | <b>附录5 国内外常用整流二极管参数表.....</b>                            | <b>293</b> |
| 8.1.4 触发器的分类.....        | 228        | <b>附录6 部分国产三极管参数及相应</b><br><b>型号对照表.....</b>             | <b>294</b> |
| 8.2 实用触发器.....           | 229        | <b>附录7 日韩产硅小功率三极管参数表.....</b>                            | <b>295</b> |
| 8.2.1 JK 触发器.....        | 229        | <b>附录8 国际 (IBC) 与 EWB 逻辑符号</b><br><b>对照表.....</b>        | <b>296</b> |
| 8.2.2 D 触发器.....         | 231        | <b>参考文献.....</b>                                         | <b>297</b> |
| 8.2.3 主从 RS 触发器.....     | 232        |                                                          |            |
| 8.2.4 主从 JK 触发器.....     | 233        |                                                          |            |
| 8.3 边沿触发器.....           | 235        |                                                          |            |
| 8.3.1 下降沿触发的 JK 触发器..... | 235        |                                                          |            |
| *8.3.2 维持阻塞 D 触发器.....   | 236        |                                                          |            |

# 第 1 章 直流电路分析技术

电路的基本概念及基本定律是分析电路的重要基础。本章将讲述的内容包括直流电路的组成及其模型、电路的基本物理量、电路的基本定律和分析方法。学好本章内容可为今后的学习打下坚实的基础。

## 1.1 电路分析的基础知识

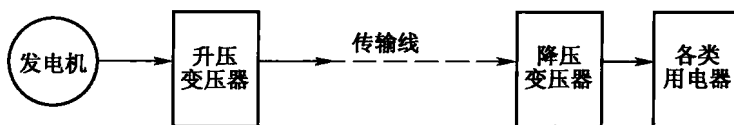
### 1.1.1 电路的作用与组成

电路是指电流流过的路径,它是为完成某些功能由某些电工设备或元器件按一定方式组合起来的。

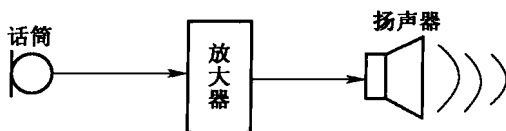
电路的组成结构和任务多种多样,但其基本是由电源、用电器(俗称负载)、导线和中间环节四部分组成的。例如,手电筒电路中的干电池为电源,灯泡为用电器,开关为中间环节,连接线为导线。通常把电源、用电器(负载)、导线称为电路组成的三要素,而中间环节属于电路控制部分。

电路的作用一般可归纳为以下两点:

(1) 实现电能的传输、转换和分配。如图 1-1 (a) 所示的电力系统,其中发电机是电源,是提供电能的设备;各类用电器属负载设备,把电能转换为其他形式的能量,如光能、热能、机械能;变压器和传输线为中间环节。



(a) 电力系统



(b) 扩音机系统

图 1-1 电路的两种举例

(2) 实现对电信号的传递与处理。如图 1-1 (b) 所示的扩音机系统,其中话筒是输出电信号的设备,把声音转换为电信号,称为信号源;放大器为处理和传递信号的中间环节;扬声器为重放声音的负载。

### 1.1.2 电路及电路模型

实际电路都是由一些根据需要具备不同作用的电路元件或器件所组成的。为了便于对实际电路进行分析和数学描述，将实际电路元件理想化（或称模型化），即在一定条件下突出其主要电磁性质，忽略其次要因素，即“理想电路元件”。本书简称为“电路元件”。由一些理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型（本书均简称电路），它是对实际电路的电磁性质的科学抽象和概括。引入电路模型的最大优点在于可以用几种有限的理想电路元件来描述种类繁多的实际电子器件中发生的物理现象，且具有很强的通用性和灵活性，对分析计算电路提供了方便。

任一电路均可用统一的、规定的图形符号表示，这就是所谓的“电路图”。图 1-2 为手电筒电路图。

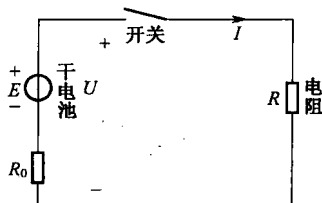


图 1-2 手电筒电路

## 1.2 电路中的基本物理量

电路的定性与定量分析主要是建立在对基本物理量分析的基础之上，这些基本物理量包括电流、电压和电功率。

### 1.2.1 电流

电流是电荷有规则地定向移动而形成的一种物理现象，电流强度是表示电流的大小及方向的物理量。

#### 1. 电流的定义

单位时间内通过导体横截面的电荷量定义为电流强度（简称电流），其数学表达式为：

$$I = \frac{Q}{T} \quad (\text{直流电流})$$

或

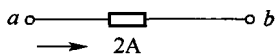
$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{交流电流})$$

其中：电荷  $q$  的单位为库仑（C），时间  $t$  的单位为秒（s），电流  $i$  的单位为安培（A），常用单位还有毫安（mA）、微安（ $\mu\text{A}$ ）。当 1 秒时间内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑时，这时电流的大小就是 1 安培。

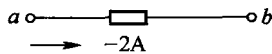
#### 2. 电流的方向

习惯上规定正电荷移动的方向（或自由电子运动的相反方向）为电流的方向，称为电流的实际方向；但在分析复杂电路时，往往很难事先确定实际方向，为此在分析电路时常常任意

选定某一方向为电流的方向,称为“参考方向”。它并不一定与电流的实际方向一致,当电流的实际方向与参考方向一致时,电流为正值;反之为负值。可见,电流有正负之分。如图 1-3 (a)中表示电流的实际方向从  $a$  指向  $b$ ;图 (b)中电流的实际方向从  $b$  指向  $a$ ,显然  $I_{ab} = -I_{ba}$ 。



(a) 电流实际方向与参考方向相同



(b) 电流实际方向与参考方向相反

图 1-3 电流的两种方向

今后在电路中所标注的电流方向均为参考方向,不一定是电流的实际方向。在未标定参考方向的情况,电流的正负值毫无意义。

### 1.2.2 电压、电位及电动势

#### 1. 电压的定义

在电路中,随着带电粒子在电场作用下运动,要发生能量的转换。例如正电荷在电场力的作用下运动,电场力做了功,使正电荷的电位能减小。为了衡量电场力做功能力的大小及分析电路的方便,引入了电压这一物理量。

电压的定义:电路中单位正电荷由  $a$  点移到  $b$  点时所获得或失去的能量称为  $a$ 、 $b$  两点间的电压,有时也叫做电位差。其数学表达式为:

$$U = \frac{W}{Q} \quad (\text{直流电压})$$

$$\text{或} \quad u = \frac{dw}{dq} \quad (\text{交流电压})$$

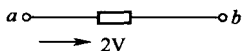
其中:电能的单位为焦耳 (J),电荷量的单位为库仑 (C),电压的单位为伏特 (V)。

1 伏特=1 焦耳/库仑,常用单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV)。

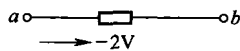
#### 2. 电压的方向

正电荷由  $a$  点移到  $b$  点时,如果获得能量(电位升高),则  $a$  点为低电位,即负极; $b$  点为高电位,即正极;如果失去能量(电位降低),则  $a$  点为高电位,即正极; $b$  点为低电位,即负极;正电荷在电路中转移时电能的得或失表现为电位的升高或降低,即电压升或电压降。习惯上规定电压降的方向为电压的实际方向,用正、负号表示,也可以用箭头或双下标表示。

但是在计算复杂电路时,电压的实际方向事先难以确定,于是常选定任意方向规定为电压的方向,称为电压的参考方向。以后无特殊说明时,电压的方向均为参考方向。这样电压就有了正负值之分,同电流的参考方向一样,当电压为正值时,表示实际方向与参考方向一致,反之则不一致。如图 1-4 所示,其中图 (a)表示实际方向与参考方向相同;图 (b)表示实际方向与参考方向相反。



(a) 电压实际方向与参考方向相同



(b) 电压实际方向与参考方向相反

图 1-4 电压的两种方向

【例 1-1】0.5 库仑的正电荷在电场中从  $a$  点移到  $b$  点，能量减小 10 焦耳，试决定  $a$ 、 $b$  点间电压的大小和方向。

解： $a$ 、 $b$  点间电压的大小为：
$$U = \frac{W}{Q} = \frac{10}{0.5} = 20 \text{ (V)}$$

根据电压的定义可知： $a$ 、 $b$  点间的电压方向是从  $a$  到  $b$ 。

### 3. 电位

分析电子电路时，常用到电位这一物理量。在电路中任选一点（如  $a$  点）作为参考点，则某点的电位就是由该点到参考点的电压，若参考点为  $o$  点，则  $a$  点的电位为：

$$V_a = V_{ao}$$

而对于参考点本身的电位一般规定为 0V，所以参考点又叫零电位点；电位的单位与电压一样，为伏特（V）。

如果  $a$ 、 $b$  两点的电位各为  $V_a$ 、 $V_b$ ，则此两点间的电压： $U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b$ ，即两点间的电压等于这两点的电位之差，所以电压也叫电位差。

注意：不事先选定参考点，是不能确定电位的，参考点选择不同，各点的电位也就不同，但电压与参考点的选择无关。电路中常选各有关部分的公共线作为参考点。例如山的高度为海拔多少米，就是以海平面为参考点。它与电位高低的规定有着相似的意义。在电子产品的检测与维修中经常通过测量关键点的电位来判定被检测电路的工作是否正常，维修时用来和正常电位值进行比较从而确定故障部位。

【例 1-2】如图 1-5 中，已知  $U_2 = -4\text{V}$ ， $U_3 = -5\text{V}$ ， $U_5 = -7\text{V}$ ， $U_6 = 2\text{V}$ ， $U_7 = 4\text{V}$ ，试分别求：（1）以  $d$  和  $b$  为参考点时  $a$ 、 $c$ 、 $e$  点的电位；（2）两种情况下的电压  $U_{ae}$ 。

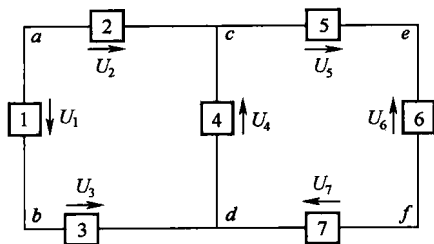


图 1-5 例 1-2 图

解：（1）当以  $d$  为参考点（ $V_d = 0$ ）时：

$$V_a = U_2 + U_5 - U_6 + U_7 = (-4) + (-7) - 2 + 4 = -9 \text{ (V)}$$

$$V_c = U_5 - U_6 + U_7 = (-7) - 2 + 4 = -5 \text{ (V)}$$

$$V_e = -U_6 + U_7 = -2 + 4 = 2 \text{ (V)}$$

当以  $b$  为参考点（ $V_b = 0$ ）时：

$$V_a = U_2 + U_5 - U_6 + U_7 - U_3 = (-4) + (-7) - 2 + 4 - (-5) = -4 \text{ (V)}$$

$$V_c = U_5 - U_6 + U_7 - U_3 = (-7) - 2 + 4 - (-5) = 0 \text{ (V)}$$

$$V_e = -U_6 + U_7 - U_3 = -2 + 4 - (-5) = 7 \text{ (V)}$$

（2）以  $d$  为参考点时， $U_{ae} = V_a - V_e = (-9) - 2 = -11 \text{ (V)}$ ；

以  $b$  为参考点时， $U_{ae} = V_a - V_e = (-4) - 7 = -11 \text{ (V)}$ 。

#### 4. 电动势

电场力总是使正电荷从高电位处移向低电位处。在实际电源中,要使回路产生持续不断的电流,此时必须有一种力使正电荷在它的作用下从低电位处被拉向高电位处,这种力称为电源力。电池中的电源力是由电解液和极板间的化学作用产生的,发电机中的电源力一般由电磁作用产生,电源力使电源两端具有的电位之差叫做电动势,用字母  $E$  或  $e$  表示,单位为伏特 (V),并规定电动势的方向是由低电位端指向高电位端。显然,电动势的方向与电压的方向相反,但量值相等。所以当电源电压的参考方向与电动势的参考方向选择一致时,  $U = -E$ 。

#### 1.2.3 电功率

在单位时间内电路吸收或释放的电能定义为该电路的功率,其数学表达式为:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{W}{Q} \cdot \frac{Q}{T} = UI \quad (\text{直流电功率})$$

或 
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = ui \quad (\text{交流电功率})$$

注意:上面两式中是选  $U$  与  $I$  的参考方向一致为前提的,若  $U$  与  $I$  的参考方向不一致时,则需要在  $UI$  前加负号。式中:电压  $U$  的单位为伏特 (V),电流  $I$  的单位为安培 (A),电功率  $P$  的单位为瓦特 (W),简称瓦。常用单位还有千瓦 (kW)、兆瓦 (MW)、毫瓦 (mW) 等。有时经常根据  $P$  的正、负值判定器件等效为吸收功率负载还是发出功率的电源。

若  $P = UI > 0$ , 则器件吸收功率,等效为负载;  $P = UI < 0$ , 则器件发出功率,等效为电源。

在图 1-6 中,电阻吸收的功率为  $P = UI$ 。

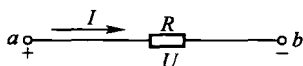


图 1-6  $U$  与  $I$  参考方向一致

**【例 1-3】** 试判断图 1-7 中元件是发出功率, 还是吸收功率。

解: 在图 1-7 (a) 中, 电压、电流是关联参考方向,  $P = UI = 10\text{W} > 0$ , 元件吸收功率, 在图 1-7 (b) 中, 电压、电流是非关联参考方向,  $P = UI = -10\text{W} < 0$ , 元件发出功率。

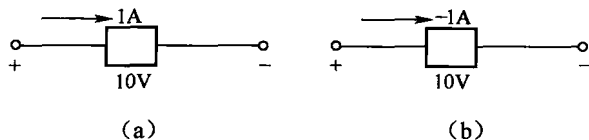


图 1-7 例 1-3 图

注意: 为分析计算方便, 一般将电阻两端电压的参考方向和通过电阻的电流的参考方向设定为一致, 称为关联参考方向。另外, 电源两端的电动势和电流的参考方向也被设为关联参考方向, 但是电源两端的电压和电流却是非关联参考方向, 即它们的参考方向是相反的。必须再次强调指出, 电路中的电流或者电压在未标明参考方向时, 讨论电流或者电压的正、负值是没有意义的!

## 1.3 欧姆定律及基尔霍夫定律

### 1.3.1 欧姆定律

#### 1. 一段电阻电路的欧姆定律

一段不含源的电阻电路中，通过电路的电流  $I$  与电路两端的电压  $U$  成正比，与电阻  $R$  成反比，称为电阻元件的欧姆定律（又称为部分电路欧姆定律，记作 VCR）。其数学表达式为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (\text{直流电路})$$

注意：在电路中，电流参考方向从高电位点流向低电位点，即电流与电压的参考方向一致，称为关联参考方向，这时  $I = \frac{U}{R}$ ，如图 1-8 (a) 所示。当电流与电压参考方向不一致时，称为非关联参考方向，这时  $I = -\frac{U}{R}$ ，如图 1-8 (b) 所示。在分析电路时若无特殊说明，一般选择关联参考方向。



(a) 电流与电压关联参考方向

(b) 电流与电压非关联参考方向

图 1-8 电流与电压的参考方向

#### 2. 全电路欧姆定律

将电源接上负载，便构成了一个完整的闭合电路，称全电路，如图 1-9 所示，其中虚线框内的部分为电源内电路， $R_0$  为电源的内电阻，其余为外电路，其数学表达式为：

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (\text{全电路欧姆定律})$$

通常将电源两端的电压称为端电压  $U_0$ ，由上式可得端电压为：

$$U_0 = IR = U_s - IR_0$$

【例 1-4】如图 1-9 中， $U_s = 3\text{V}$ ，内阻  $R_0 = 0.4\Omega$ ，外接负载电阻  $R = 9.6\Omega$ ，求电源端电压和内阻上的电压降。

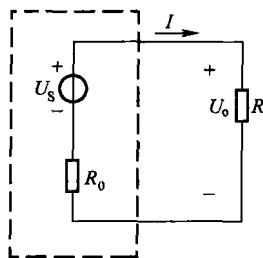


图 1-9 全电路欧姆定律

解：因为  $I = \frac{U_s}{R_0 + R} = \frac{3}{0.4 + 9.6} = 0.3 \text{ (A)}$

所以  $U_o = IR = 0.3 \times 9.6 = 2.88 \text{ (V)}$

内阻电压降为： $U = IR_0 = 0.3 \times 0.4 = 0.12 \text{ V}$  或  $U = U_s - U_o = 3 - 2.88 = 0.12 \text{ (V)}$ 。

### 1.3.2 基尔霍夫定律

如图 1-10 所示的电路，若已知  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ ，求解电路中的各电流。如果采用中学学过的电阻的串并联公式，用欧姆定律求解，已不能得出结果。这样的电路称为复杂电路，求解复杂电路的基本定律为基尔霍夫定律。

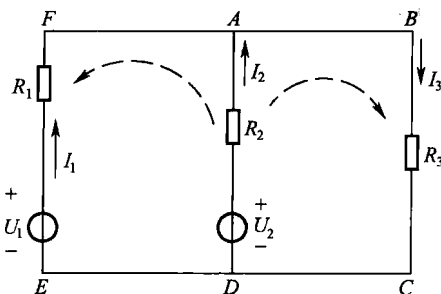


图 1-10 复杂直流电路

下面先介绍几个基本概念：

(1) 支路：电路中每一条无分支的电流路径称为支路。图 1-10 中有  $AD$ 、 $ABCD$ 、 $AFED$  三条支路。

(2) 节点：电路中三条或三条以上支路的连接点叫节点。图 1-10 中有  $A$ 、 $D$  两个节点。

(3) 回路：电路中任意一个闭合路径称为回路。图 1-10 中有  $ABCD$ 、 $AFED$ 、 $BCEFB$  三个回路。

(4) 网孔：内部不含支路的回路称为网孔。图 1-10 中有  $ABCD$ 、 $ADEFA$  两个网孔。

#### 1. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

基尔霍夫电流定律说明了连接在同一节点上的几条支路的电流的关系，其内容是：电路中任意一个节点上，流入节点的电流之和等于流出该节点的电流之和（其理论依据是“电荷守恒定律”），即：

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \text{ 或 } \sum I = 0$$

对基尔霍夫电流定律的理解可借助于水管的接头，因为流入水管接头的水流量之和总是等于流出水管接头的水流量之和。例如图 1-10 中的节点  $A$  有：

$$I_1 + I_2 = I_3$$

若设流入节点的电流为正，流出该节点的电流为负，则上式可写成：

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

于是，流入电路中任一节点电流的代数和为 0。所有电路均满足此关系，这一关系为电路的结构约束。

【例 1-5】图 1-11 中， $I_1=3\text{A}$ ， $I_2=2\text{A}$ ， $I_4=5\text{A}$ ， $I_6=-6\text{A}$ ，求  $I_3$ 、 $I_5$ 。

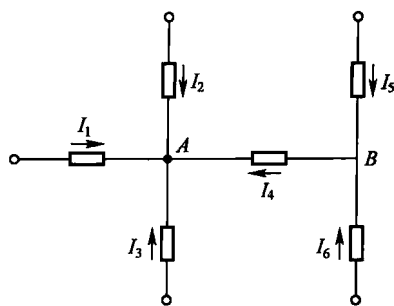


图 1-11 例 1-5 图

解：列出  $A$ 、 $B$  两节点的 KCL 方程式为：

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 0$$

$$I_5 + I_6 = I_4$$

代入数据得：

$$3 + 2 + I_3 + 5 = 0$$

$$I_5 - 6 = 5$$

解得： $I_3 = -10\text{A}$ ， $I_5 = 11\text{A}$ 。

由此可见，在按基尔霍夫电流定律列方程时，先要根据电流参考方向确定方程式，若解出的结果为正值，说明电流的参考方向与实际方向一致；若解出的结果为负值，说明电流的参考方向与实际方向相反。

## 2. 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律说明了回路中各部分电压之间的相互关系，其内容是：对于电路中的任一回路，沿任一方向绕行回路一周的各段电压的代数和等于 0，其表达式为：

$$\sum U = 0$$

在应用 KVL 列方程之前，应先确定所选回路的绕行方向，在沿回路绕行一周的过程中遇到电位降低时取正值，遇到电位升高时取负值。

在图 1-10 中各回路沿逆时针或顺时针方向绕行一圈，列 KVL 方程为：

回路  $ADEFA$ ：  $-I_2 R_2 + U_2 - U_1 + I_1 R_1 = 0$

回路  $ABCD A$ ：  $-U_2 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = 0$

【例 1-6】在图 1-12 所示的电路中， $E_1 = 12\text{V}$ ， $E_2 = 15\text{V}$ ， $R_1 = 20\Omega$ ， $R_2 = 10\Omega$ ，求电路中的电流  $I$ 。

解：选择逆时针方向为绕行方向，根据 KVL 列方程：

$$IR_2 + IR_1 + E_1 - E_2 = 0$$

$$I \times 10 + I \times 20 + 12 - 15 = 0$$

解得： $I = 0.1\text{ (A)}$

此题也可选顺时针方向为绕行方向，计算结果仍得  $I = 0.1\text{A}$ 。可见计算结果与回路绕行方向的选择无关。

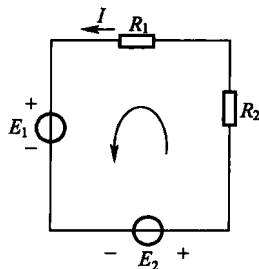


图 1-12 例 1-6 图