



高职高专“十一五”规划教材

电气系

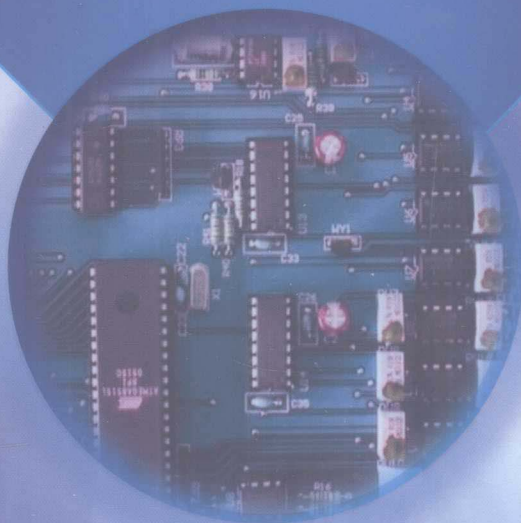
DIANGONG YU DIANZI JISHU

# 电工与电子技术



陈斗 主编

王连运 余岳 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 电工与电子技术

陈 斗 主编

王连运 余 岳 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书采用了目标教学法,层次分明、条理清晰、结构合理、重点突出,深入浅出、通俗易懂,淡化理论、突出应用,比同类图书增加了实践应用模块。书中有图片、实物照片,增添了有关电工电子方面的新技术、新工艺、新设备等新知识。

本书分为电工、电子两部分,主要包括:直流电路、单相交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、交流异步电动机、常用低压电器与控制电路、半导体元器件、直流稳压电源、基本放大电路、集成运算放大器、逻辑门电路和组合逻辑电路、时序逻辑电路、常用中、大规模集成电路等。每章之前有学习目标,章后附有实践应用、本章小结、习题,书末附有部分习题答案,还配套有电子课件。

本书可作为高职高专院校、成人高校、民办高校、中专等的电类、机电类相关专业的教材,也可作为岗位培训用书,还可供工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子技术/陈斗主编. —北京:化学工业出版社, 2010.1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-07359-4

I. 电… II. 陈… III. ①电工技术-高等学校: 技术学院-教材②电子技术-高等学校: 技术学院-教材  
IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 232267 号

---

责任编辑:王听讲

文字编辑:吴开亮

责任校对:陶燕华

装帧设计:韩 飞

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 1/4 字数 488 千字 2010 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888 (传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 35.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

本教材以《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2002]2号)精神为指导,以“必需、够用、实用、好用”为原则,根据教育部最新制订的“高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求”,针对高职高专生源及在职职工的特点而编写的。

本教材分为电工部分、电子部分,主要内容包括:直流电路、单相交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、交流异步电动机、常用低压电器与控制电路、半导体元器件、直流稳压电源、基本放大电路、集成运算放大器、逻辑门电路和组合逻辑电路、时序逻辑电路、常用中、大规模集成电路,共计13章。每章之前有学习目标,章后附有实践应用、本章小结、习题,书末附有部分习题答案,便于自学。教材配套有电子课件。

本教材主要根据编者长期教学 and 实践经验编写,很多应用实例来自于实际开发项目,具有鲜明的实用性。本教材力求使读者通过学习,掌握电工电子技术的基础理论、基础知识和基本技能,提高分析、解决实际问题的能力,掌握相关技术与技能,为后续学习和从事专业技术工作打下一定基础,并有助于读者通过相关升学考试和职业资格证书考试。

本教材主要特色如下。

1. 编写过程中始终贯彻“以实际应用为目的,理论够用为度”的教学原则,以就业为导向,以职业能力为本位,培养学生的实际技能。淡化理论,强调教学内容的应用性与实践性。教材内容贴近实际,衔接岗位,与相应的职业资格标准或行业的资格认证结合起来。每章后附有实践应用、习题,书末附有部分习题答案,通过实践应用模块和习题,加强实际应用能力的训练。

2. 面向学生,表述通俗易懂,图文并茂,例题丰富。立足于学生角度编写教材,让学生“易于学”。教材中的许多内容都是各位教师在平时教学中所积累的知识,在内容的表述上尽可能避免使用生硬的论述,通过图片、实物照片,力争深入浅出、通俗易懂,从而提高学习的兴趣。在教材编写过程中,我们精心选择各个例题、习题,力争做到有针对性,能够让学生通过实例很快掌握对应知识。

3. 采用目标教学体系。每章之前有学习目标,章后有实践应用、本章小结。

4. 适当体现电工电子技术发展的先进性。增添了电工电子方面的新技术、新工艺、新设备等新知识,使学生学到新颖实用的知识。

本教材由湖南铁路科技职业技术学院的陈斗担任主编,负责全书内容的组织、定稿、统稿和修改;青岛职业技术学院的王连运和湖南铁路科技职业技术学院的余岳担任副主编;青岛职业技术学院的陈萌、苏金文,湖南电气职业技术学院的郭美莉,湖南铁路科技职业技术学院的张兰红、曾树华、刘刚,湖南交通工程职业技术学院的柴霞君参编。其中第1章由陈萌编写,第2章由苏金文编写,第3章由苏金文和陈斗编写,第4章由陈斗编写,第5章由

王连运编写，第6章由陈萌、陈斗编写，第7章由张兰红编写，第8章由余岳编写，第9章由郭美莉编写，第10章由刘刚编写，第11章由柴霞君编写，第12章由曾树华编写，第13章由陈斗编写。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，殷切希望广大读者批评指正，以便修订时改进。

编 者

2009年10月

# 目 录

## 电工部分

1

|                           |    |                           |    |
|---------------------------|----|---------------------------|----|
| <b>第 1 章 直流电路</b> .....   | 1  | 2.2 正弦量的相量表示法             | 36 |
| 1.1 电路及主要物理量              | 1  | 2.2.1 旋转矢量                | 36 |
| 1.1.1 电路的概念               | 1  | 2.2.2 复数                  | 36 |
| 1.1.2 电路的主要物理量            | 2  | 2.2.3 相量                  | 38 |
| 1.2 电路的状态及电气设备的额定值        | 4  | 2.3 单一参数电路元件的交流电路         | 40 |
| 1.2.1 电路的状态               | 4  | 2.3.1 电阻电路                | 40 |
| 1.2.2 电气设备的额定值            | 5  | 2.3.2 电感电路                | 41 |
| 1.3 电路中各点电位的计算            | 6  | 2.3.3 电容电路                | 44 |
| 1.3.1 电位的概念               | 6  | 2.4 电阻、电感、电容串联电路          | 47 |
| 1.3.2 电位的计算               | 6  | 2.4.1 电压与电流之间的关系          | 47 |
| 1.4 功率                    | 7  | 2.4.2 RLC 串联电路的功率         | 51 |
| 1.5 理想电路元件                | 8  | 2.5 正弦交流电路的分析方法           | 52 |
| 1.5.1 电阻元件                | 8  | 2.5.1 基尔霍夫定律的相量形式         | 53 |
| 1.5.2 电感元件                | 8  | 2.5.2 复阻抗的串联和并联           | 53 |
| 1.5.3 电容元件                | 9  | 2.5.3 正弦交流电路分析举例          | 54 |
| 1.6 电压源与电流源及其等效变换         | 10 | 2.6 电路的谐振                 | 55 |
| 1.6.1 电压源模型               | 10 | 2.6.1 串联谐振                | 56 |
| 1.6.2 电流源                 | 11 | 2.6.2 并联谐振                | 57 |
| 1.6.3 电压源模型和电流源模型的等效变换    | 13 | 2.7 功率因数的提高               | 59 |
| 1.7 基尔霍夫定律                | 14 | 2.7.1 提高功率因数的意义           | 59 |
| 1.7.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)      | 15 | 2.7.2 提高功率因数的方法           | 59 |
| 1.7.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)      | 16 | 实践应用                      | 61 |
| 1.8 支路电流法                 | 18 | 单相交流电的应用                  | 61 |
| 1.9 节点电压法                 | 19 | 本章小结                      | 61 |
| 1.10 叠加定理                 | 21 | 习题                        | 63 |
| 1.11 戴维南定理                | 23 | <b>第 3 章 三相交流电路</b> ..... | 66 |
| 实践应用                      | 26 | 3.1 三相电源                  | 66 |
| 电阻阻值的判别                   | 26 | 3.1.1 三相交流电动势的产生          | 66 |
| 本章小结                      | 27 | 3.1.2 三相交流电动势的表示方法        | 66 |
| 习题                        | 28 | 3.2 三相电源的连接               | 67 |
| <b>第 2 章 单相交流电路</b> ..... | 30 | 3.2.1 三相电源绕组的星形连接         | 67 |
| 2.1 正弦交流电的基本概念            | 30 | 3.2.2 三相电源绕组的三角形连接        | 68 |
| 2.1.1 交流电的概念              | 30 | 3.3 负载的星形连接               | 69 |
| 2.1.2 正弦交流电动势的产生          | 30 | 3.4 负载的三角形连接              | 72 |
| 2.1.3 正弦量的三要素             | 31 | 3.5 三相电路的功率               | 74 |
|                           |    | 3.6 安全用电                  | 75 |

|                           |     |                              |     |
|---------------------------|-----|------------------------------|-----|
| 3.6.1 触电方式 .....          | 75  | 5.2.1 三相异步电动机的电磁转矩 .....     | 126 |
| 3.6.2 安全电压和触电防护 .....     | 76  | 5.2.2 三相异步电动机的机械特性 .....     | 127 |
| 3.6.3 安全用电的措施 .....       | 76  | 5.3 三相异步电动机的启动、调速与           |     |
| 3.6.4 触电急救 .....          | 77  | 制动 .....                     | 129 |
| 实践应用 .....                | 77  | 5.3.1 三相异步电动机的启动 .....       | 129 |
| 磁悬浮列车 .....               | 77  | 5.3.2 三相异步电动机的调速 .....       | 132 |
| 本章小节 .....                | 80  | 5.3.3 三相异步电动机的制动 .....       | 133 |
| 习题 .....                  | 80  | 5.4 三相异步电动机的铭牌及类型 .....      | 134 |
| <b>第4章 磁路与变压器</b> .....   | 82  | 5.4.1 三相异步电动机的铭牌 .....       | 134 |
| 4.1 磁路的基本知识 .....         | 82  | 5.4.2 三相异步电动机的类型 .....       | 137 |
| 4.1.1 磁场的基本物理量和基本定律 ..... | 82  | 5.5 三相异步电动机的选择 .....         | 138 |
| 4.1.2 铁磁材料 .....          | 84  | 5.5.1 类型的选择 .....            | 138 |
| 4.1.3 磁路及磁路定律 .....       | 88  | 5.5.2 容量的选择 .....            | 138 |
| 4.2 交流铁芯线圈电路 .....        | 92  | 5.5.3 转速的选择 .....            | 139 |
| 4.3 变压器的分类、用途、结构和工作       |     | 5.5.4 额定电压的选择 .....          | 139 |
| 原理 .....                  | 95  | 5.5.5 外形结构的选择 .....          | 139 |
| 4.3.1 变压器的分类与用途 .....     | 95  | 5.6 单相异步电动机 .....            | 139 |
| 4.3.2 变压器的基本结构 .....      | 97  | 5.6.1 单相电容分相式电动机 .....       | 140 |
| 4.3.3 变压器的工作原理 .....      | 98  | 5.6.2 单相电阻分相式电动机 .....       | 140 |
| 4.4 变压器的运行特性和额定值 .....    | 102 | 5.6.3 单相罩极式电动机 .....         | 141 |
| 4.4.1 变压器的外特性和电压变化率 ..... | 102 | 实践应用 .....                   | 141 |
| 4.4.2 变压器的损耗与效率 .....     | 103 | 本章小结 .....                   | 141 |
| 4.4.3 变压器的额定值 .....       | 104 | 习题 .....                     | 142 |
| 4.5 常用变压器和电磁铁 .....       | 105 | <b>第6章 常用低压电器与控制电路</b> ..... | 144 |
| 4.5.1 自耦变压器和调压器 .....     | 105 | 6.1 常用低压电器 .....             | 144 |
| 4.5.2 电焊变压器 .....         | 106 | 6.1.1 概述 .....               | 144 |
| 4.5.3 小功率电源变压器 .....      | 106 | 6.1.2 低压隔离开关 .....           | 144 |
| 4.5.4 仪用互感器 .....         | 108 | 6.1.3 主令电器 .....             | 146 |
| 4.5.5 三相电力变压器 .....       | 110 | 6.1.4 继电器 .....              | 149 |
| 4.5.6 电磁铁 .....           | 112 | 6.1.5 熔断器 .....              | 152 |
| 实践应用 .....                | 115 | 6.2 电气控制线路的设计与实现 .....       | 154 |
| 单相配电变压器在低压配电网中的应用 .....   | 115 | 6.2.1 三相笼型异步电动机的基本控制         |     |
| 本章小结 .....                | 116 | 电路 .....                     | 154 |
| 习题 .....                  | 118 | 6.2.2 三相异步电动机降压启动控制          |     |
| <b>第5章 交流异步电动机</b> .....  | 120 | 电路 .....                     | 159 |
| 5.1 三相异步电动机的构造及工作原理 ..... | 120 | 6.2.3 异步电动机的制动控制电路 .....     | 161 |
| 5.1.1 三相异步电动机的构造 .....    | 120 | 实践应用 .....                   | 164 |
| 5.1.2 电动机的工作原理 .....      | 123 | 卧式车床的电气控制电路分析 .....          | 164 |
| 5.2 三相异步电动机的电磁转矩与机械       |     | 本章小结 .....                   | 165 |
| 特性 .....                  | 126 | 习题 .....                     | 166 |
| <b>电子部分</b> .....         | 167 |                              |     |
| <b>第7章 半导体元器件</b> .....   | 167 | 7.1.2 PN结 .....              | 168 |
| 7.1 半导体及PN结 .....         | 167 | 7.2 半导体二极管 .....             | 169 |
| 7.1.1 半导体的基本知识 .....      | 167 | 7.2.1 二极管的结构 .....           | 169 |



|                          |     |                           |     |
|--------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 7.2.2 二极管的伏安特性 .....     | 169 | 8.6.2 串联型稳压电路 .....       | 194 |
| 7.2.3 主要参数 .....         | 170 | 8.6.3 集成稳压电路和开关电源 .....   | 195 |
| 7.2.4 二极管电路的应用举例 .....   | 171 | 实践应用 .....                | 196 |
| 7.3 几种常见的特殊二极管 .....     | 172 | 计算机开关电源的原理和应用 .....       | 196 |
| 7.3.1 稳压二极管 .....        | 172 | 本章小结 .....                | 198 |
| 7.3.2 光电二极管 .....        | 173 | 习题 .....                  | 198 |
| 7.3.3 发光二极管 .....        | 174 | <b>第9章 基本放大电路</b> .....   | 200 |
| 7.3.4 激光二极管 .....        | 175 | 9.1 基本放大电路的组成及各元件的        |     |
| 7.4 半导体三极管 .....         | 175 | 作用 .....                  | 200 |
| 7.4.1 基本结构 .....         | 175 | 9.1.1 基本放大电路的组成 .....     | 200 |
| 7.4.2 电流分配与放大原理 .....    | 176 | 9.1.2 各元件的作用 .....        | 200 |
| 7.4.3 三极管的特性曲线 .....     | 177 | 9.2 放大电路的静态分析 .....       | 201 |
| 7.4.4 三极管的主要参数 .....     | 178 | 9.2.1 估算法 .....           | 201 |
| 7.4.5 三极管的选择 .....       | 178 | 9.2.2 图解法 .....           | 202 |
| 7.5 晶闸管 .....            | 179 | 9.3 放大电路的动态分析 .....       | 203 |
| 7.5.1 晶闸管的外形、结构及符号 ..... | 179 | 9.3.1 放大电路的动态工作情况 .....   | 203 |
| 7.5.2 类型 .....           | 179 | 9.3.2 放大电路中各参数的定义 .....   | 203 |
| 7.5.3 工作原理 .....         | 179 | 9.3.3 微变等效电路法 .....       | 204 |
| 7.5.4 晶闸管的伏安特性曲线及其主要     |     | 9.3.4 静态工作点的设置与稳定 .....   | 206 |
| 参数 .....                 | 180 | 9.4 共集电极放大电路 .....        | 208 |
| 实践应用 .....               | 182 | 9.4.1 共集电极电路的组成 .....     | 208 |
| 光控报警器 .....              | 182 | 9.4.2 共集电极电路分析 .....      | 208 |
| 本章小结 .....               | 183 | 9.4.3 射极输出器的特点及应用 .....   | 210 |
| 习题 .....                 | 183 | 9.5 多级放大电路 .....          | 210 |
| <b>第8章 直流稳压电源</b> .....  | 184 | 9.5.1 多级放大电路的电压放大倍数，      |     |
| 8.1 直流稳压电源的组成 .....      | 184 | 输入电阻、输出电阻 .....           | 210 |
| 8.1.1 直流稳压电源的组成 .....    | 184 | 9.5.2 差动放大电路 .....        | 211 |
| 8.1.2 直流稳压电源的分类 .....    | 185 | 9.6 功率放大电路 .....          | 212 |
| 8.2 单相半波整流电路 .....       | 185 | 9.6.1 功率放大电路的特点 .....     | 212 |
| 8.2.1 工作原理 .....         | 185 | 9.6.2 互补对称功率放大电路 .....    | 213 |
| 8.2.2 直流电压与直流电流的计算 ..... | 186 | 实践应用 .....                | 215 |
| 8.3 单相桥式整流电路 .....       | 187 | 1. 音响设备中广泛采用集成电路组成的       |     |
| 8.3.1 工作原理 .....         | 187 | 功率放大器 .....               | 215 |
| 8.3.2 输出电压与输出电流的计算 ..... | 188 | 2. 扩音机电路 .....            | 215 |
| 8.3.3 二极管的选择 .....       | 188 | 本章小结 .....                | 217 |
| 8.4 晶闸管单相可控整流电路 .....    | 189 | 习题 .....                  | 217 |
| 8.4.1 晶闸管的结构 .....       | 189 | <b>第10章 集成运算放大器</b> ..... | 219 |
| 8.4.2 晶闸管的工作原理 .....     | 189 | 10.1 集成运算放大器简介 .....      | 219 |
| 8.4.3 单相桥式可控整流电路 .....   | 190 | 10.1.1 集成运算放大器的基本组成 ..... | 219 |
| 8.5 滤波电路 .....           | 190 | 10.1.2 集成运放的电压传输特性 .....  | 220 |
| 8.5.1 电容滤波电路 .....       | 191 | 10.1.3 集成运算放大器的主要参数 ..... | 221 |
| 8.5.2 电感滤波电路 .....       | 192 | 10.1.4 集成运放的理想化模型 .....   | 222 |
| 8.5.3 复式滤波电路 .....       | 192 | 10.1.5 集成运算放大器的基本分析       |     |
| 8.6 稳压电路 .....           | 193 | 方法 .....                  | 223 |
| 8.6.1 硅稳压管稳压电路 .....     | 193 | 10.1.6 集成运算放大器的线性应用 ..... | 223 |



|                            |     |                           |     |
|----------------------------|-----|---------------------------|-----|
| 10.1.7 集成运放的非线性应用 .....    | 226 | 12.1.2 同步 RS 触发器 .....    | 263 |
| 10.2 放大电路中的反馈 .....        | 229 | 12.1.3 主从 JK 触发器 .....    | 264 |
| 10.2.1 反馈的基本概念 .....       | 229 | 12.1.4 D 触发器 .....        | 265 |
| 10.2.2 反馈的判断方法和类型 .....    | 230 | 12.1.5 T 触发器 .....        | 265 |
| 10.2.3 负反馈对放大电路的影响 .....   | 235 | 12.2 寄存器 .....            | 265 |
| 实践应用 .....                 | 236 | 12.2.1 基本概念 .....         | 265 |
| 常用集成运放芯片的应用 .....          | 236 | 12.2.2 数码寄存器 .....        | 266 |
| 本章小结 .....                 | 238 | 12.2.3 移位寄存器 .....        | 266 |
| 习题 .....                   | 239 | 12.3 计数器 .....            | 267 |
| <b>第 11 章 逻辑门电路和组合逻辑</b>   |     | 12.3.1 二进制计数器 .....       | 267 |
| <b>电路</b> .....            | 241 | 12.3.2 十进制计数器 .....       | 268 |
| 11.1 数字与编码 .....           | 241 | 12.3.3 集成计数器 .....        | 269 |
| 11.1.1 数字电路概述 .....        | 241 | 12.4 时序逻辑电路的分析 .....      | 270 |
| 11.1.2 数制 .....            | 242 | 12.4.1 时序电路的基本分析方法 .....  | 270 |
| 11.1.3 编码 .....            | 243 | 12.4.2 时序电路的分析举例 .....    | 271 |
| 11.2 逻辑函数及应用 .....         | 244 | 实践应用 .....                | 272 |
| 11.2.1 逻辑代数及基本运算公式 .....   | 244 | 数字电子钟的设计 .....            | 272 |
| 11.2.2 逻辑函数的化简 .....       | 244 | 本章小结 .....                | 274 |
| 11.3 逻辑门电路 .....           | 246 | 习题 .....                  | 275 |
| 11.3.1 基本逻辑门电路 .....       | 246 | <b>第 13 章 常用中、大规模数字集成</b> |     |
| 11.3.2 复合门电路 .....         | 248 | <b>电路</b> .....           | 277 |
| 11.4 组合逻辑电路 .....          | 250 | 13.1 555 定时器的应用 .....     | 277 |
| 11.4.1 组合逻辑电路的分析 .....     | 250 | 13.1.1 555 定时器的工作原理 ..... | 277 |
| 11.4.2 组合逻辑电路的设计 .....     | 251 | 13.1.2 555 定时器的应用实例 ..... | 278 |
| 11.4.3 中规模组合逻辑部件 .....     | 252 | 13.2 模数转换和数模转换 .....      | 282 |
| 实践应用 .....                 | 257 | 13.2.1 数/模转换器 (DAC) ..... | 282 |
| 中规模组合逻辑部件在实际中的应用 .....     | 257 | 13.2.2 模/数转换器 (ADC) ..... | 285 |
| 本章小结 .....                 | 258 | 实践应用 .....                | 287 |
| 习题 .....                   | 259 | 简易闯入报警器 .....             | 287 |
| <b>第 12 章 时序逻辑电路</b> ..... | 261 | 本章小结 .....                | 288 |
| 12.1 双稳态触发器 .....          | 261 | 习题 .....                  | 289 |
| 12.1.1 基本 RS 触发器 .....     | 261 |                           |     |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| <b>附录 部分习题答案</b> ..... | 290 |
|------------------------|-----|

|                   |     |
|-------------------|-----|
| <b>参考文献</b> ..... | 298 |
|-------------------|-----|

# 电工部分

## 第1章 直流电路

### [学习目标]

- (1) 了解电路的基本概念，掌握几种电路元件的物理特性。
- (2) 掌握电压源与电流源及其等效变换。
- (3) 掌握基尔霍夫定律。
- (4) 掌握支路电流法、节点电压法、叠加定理、戴维宁定理等电路分析方法。

### 1.1 电路及主要物理量

#### 1.1.1 电路的概念

##### 1. 电路

电路就是电流所通过的路径。一个完整的电路是由电源、负载和中间环节（包括开关和导线等）三部分组成，称为组成电路的“三要素”。例如，常用的手电筒的实际电路就是一个最简单的电路，如图 1-1(a) 所示。它由电源（干电池）、负载（灯泡）、导线及开关构成。当开关闭合时，电流通过灯泡使其发光，将电能转换为光能和热能。其中电源是电路中提供电能或产生信号的设备，它的作用是将机械能、化学能、光能、水能等其他形式的能量转换为电能，如发电机、干电池、蓄电池、信号发生器等；负载是电路中吸收电能或接收信号的设备，它的作用是将电源供给的电能转换成光能、热能、机械能等其他形式的能量，如电灯、电动机、各种家用电器等；中间环节是连接电源和负载的部分，其作用是传输和控制电能，如导线、开关、熔断器等。

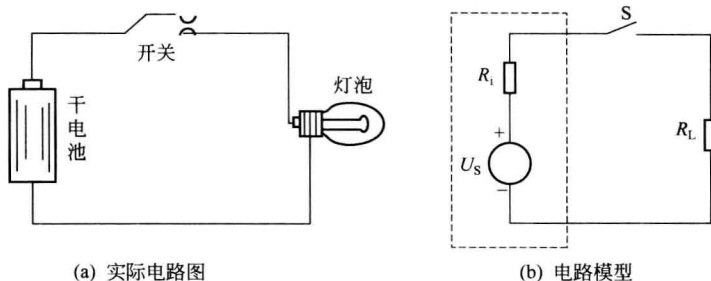


图 1-1 手电筒的实际电路和电路模型

实际应用中的电路，种类繁多，不同电路其作用也是各不相同的。根据电路的功能可分为电力电路和信号电路两种。其中电力电路是对电能进行传输、转换和分配，例如一般的照明电路和动力电路都属于电力电路；信号电路是对信号进行处理和传递，如收音机、电视机、计算机网络、通信等电路都属于信号电路。

## 2. 电路模型

实际电路种类很多，用途各异，组成电路的元器件也多种多样。在工作过程中，所表现出的电磁性能和能量转换过程往往较复杂，给电路分析（即在已知电路的结构及参数的情况下，求解各部分电压和电流及功率）带来很大困难。例如白炽灯，不仅具有消耗电能的性质，即具有电阻性，而且当电流流过时，还会产生磁场，说明它还具有电感性质，这样很难用一个数学表达式，表达其端钮的电压与电流关系。但由于其电感甚小，可忽略不计，则其主要性质为电阻性，这样就将白炽灯作为电阻元件。所以为了简化分析，必须抓电路元件的主要性质忽略其次要性质，使之尽可能用简单的数学式表达。这样经过简化的元件称为理想元件或元件模型。理想的电路元件主要有：电阻元件、电容元件、电感元件及电压源和电流源等。理想元件都用规定的图形符号来表示，如图 1-2 所示。用理想电路元件代替实际电路元件而构成的电路称为电路模型。这样，图 1-1(a) 所示的手电筒的实际电路图就可以用图 1-1(b) 所示的电路模型来表示。即用理想电压源  $U_S$  和电源内阻  $R_i$  串联表示电源（干电池），电阻  $R_L$  表示负载（小灯泡），S 表示电路的开关。

今后本书所给的电路一般都是由理想元件构成的电路模型。

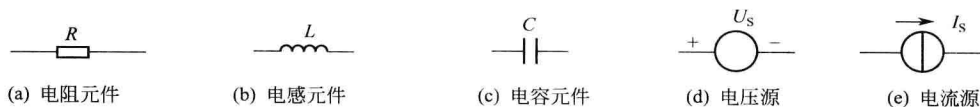


图 1-2 理想元件的图形符号

### 1.1.2 电路的主要物理量

电路中的基本物理量有电流、电压、电动势、电功率与电能等。深刻理解这些物理量的含义对分析电路是很重要的。下面分别介绍。

#### 1. 电流及其参考方向

电荷的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度（简称电流）表示，即单位时间内通过导体横截面的电荷量。其表达式为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中， $dq$  表示时间  $dt$  内通过导体横截面的电荷量，单位为库仑（C）； $dt$  表示时间，单位为秒（s）；电流单位为安培（A），常用的单位还有毫安（mA）、微安（ $\mu A$ ）等。它们之间的换算关系为

$$1A = 10^3 mA = 10^6 \mu A$$

电路中经常遇到各种类型的电流。当电流大小和方向不随时间变化时，即  $dq/dt$  为常数，这种电流称为直流电流（DC），用大写字母  $I$  表示，即

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中， $q$  为时间  $t$  内通过导体横截面的电荷量。

大小和方向随时间变化的电流称交流电流（AC），用小写字母  $i$  表示。

电流的实际方向规定为正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向，常用箭头表示。

对于简单的电路，可以容易地判断出电流的实际方向，但是在分析复杂电路时，难以事先判定出电流的实际方向。为此，引入一个十分重要的概念——参考方向的概念。所谓参考方向就是假定的电流的正方向。电流的参考方向可以任意假定，并在图上用箭头表示出来。



图 1-3 电流的参考方向与实际方向

根据电流的正负和假定的参考方向可以确定电流的实际方向，如图 1-3 所示。电流实际方向的判定方法如下。

① 若电流为正值 ( $I > 0$ )，则实际方向与参考方向相同，如图 1-3(a) 所示。

② 若电流为负值 ( $I < 0$ )，则实际方向与参考方向相反，如图 1-3(b) 所示。

注意：不设定参考方向时，电流的正负号是没有意义的。

## 2. 电压及其参考极性

电场力把单位正电荷由  $a$  点移动到  $b$  点所做的功，叫  $a$ 、 $b$  两点间的电压  $u_{ab}$ ，其定义式为

$$u_{ab} = \frac{d\omega}{dq} \quad (1-3)$$

式中， $d\omega$  是电场力将正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所做的功，单位是焦耳 (J)； $dq$  为被移动的正电荷量，单位是库仑 (C)。电压的单位是伏特 (V)，常用的单位还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 等。

大写字母  $U$  用来表示不随时间变化的电压，即直流电压；小写字母  $u$  用来表示随时间变化的电压，即交流电压。

电压也可以用电位来表示，电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压。规定参考点的电位为零，电位用大写字母  $V$  表示。一旦选定了参考点，电路中各点都将有确定的电位值。例如，若选  $c$  点为参考点，则任一点  $a$  的电位可表示为： $V_a = U_{ac}$ 。因此，电位实质上就是电压，是相对参考点的电压。

如果已知任意两点  $a$ 、 $b$  的电位分别为  $V_a$ 、 $V_b$ ，则  $a$ 、 $b$  两点间的电压可表示为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

由上式可见：任意两点间的电压等于这两点的电位之差，故电压又称电位差。

电压的实际方向规定为电压降的方向，即由高电位端指向低电位端。表示方法可用箭头，箭头由高电位端指向低电位端，如图 1-4(a) 所示；也可用极性符号表示，“+”表示高电位，“-”表示低电位，如图 1-4(b) 所示；此外，也可用下标的顺序来表示，如  $U_{ab}$  表示电压的方向是  $a$  到  $b$ 。

和电流一样，各元件电压的实际方向也是难以事先判断出来的，因此，对电压也要指定参考方向。根据电压的正负和假定的参考方向可以确定电压的实际方向。

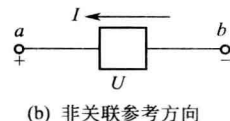
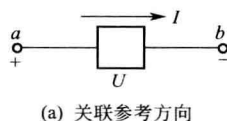
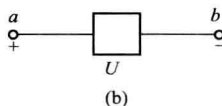
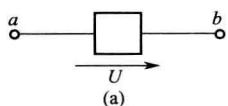


图 1-4 电压的表示方法

图 1-5 关联参考方向与非关联参考方向

- ① 若电压为正值 ( $U>0$ )，则实际方向与参考方向相同；
- ② 若电压为负值 ( $U<0$ )，则实际方向与参考方向相反。

### 3. 电压与电流的关联参考方向

进行电路分析时，对于一个元件，我们既要为通过元件的电流选取参考方向，又要为元件两端的电压选取参考方向，两者是相互独立的，可任意选取。若选取的电流的参考方向与电压的参考方向一致，则称电流与电压为关联参考方向，也就是电流从电压的“+”号端流向“-”号端，如图 1-5(a) 所示；若电流与电压的参考方向相反，则称电流与电压为非关联参考方向，如图 1-5(b) 所示。

## 1.2 电路的状态及电气设备的额定值

### 1.2.1 电路的状态

根据电源和负载连接的不同情况，电路可分为开路、短路和通路三种状态。

#### 1. 开路

开路也称断路，又称空载状态。此时电源与负载之间的开关断开或者连接导线折断，电路未构成闭合回路，开路状态如图 1-6(a) 所示。这种情况主要发生在负载不用电的场合及检修电气设备、排除故障的时候。开路时，电路具有下列特点。

- ① 电路中的电流为零，即  $I=0$ 。因为未构成闭合电路，因此电路中的电流必为零。
- ② 电源的端电压等于电源的电动势，即  $U_{OC}=E$ 。根据  $U_{OC}=E-R_i I$ ，因为电流  $I=0$ ，无内阻压降，所以开路电压（也称空载电压）就等于电源电动势。利用这一特点可以测量电源电动势的大小。
- ③ 电源的输出功率和负载的吸收功率均为零。

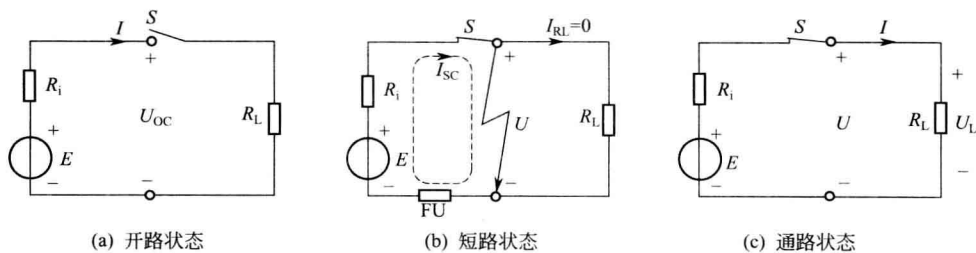


图 1-6 电路的状态

#### 2. 短路

从广义上说，电路中任何一部分用导线（导线的电阻等于零）直接连通起来，使这两端的电压降为零（即这两点的电位相等），这种现象统称为短路。其中电源短路是将电源两极用导线直接连通，如图 1-6(b) 所示。电压源短路是一种严重事故，这种情况通常是由于电源线绝缘损坏或者接线错误以及操作不慎造成的。电源短路时具有以下的特点。

- ① 负载电流为零，即  $I_{RL}=0$ 。因为电流直接经过短路导线形成闭合回路，不再流过负载，故负载电流  $I_{RL}=0$ 。

- ② 电源中的电流最大，即  $I_{SC}=\frac{E}{R_i}$ 。因为短路回路内只包含电源内阻  $R_i$ ，而且  $R_i$  很小，故该电流  $I_{SC}=\frac{E}{R_i}$  最大， $I_{SC}$  称为短路电流。

③ 电源和负载的端电压均为零。因为这时外电路的电阻为零，电源的电动势全部降落在内阻上，即  $E = IR_i$ 。

④ 电源对外输出功率和负载吸收功率均为零。因为负载中电流为零，且端电压也是零，故负载吸收的电功率为零。此时，电源产生的电功率全部消耗在内电阻上。

总结以上分析可知，电源短路时，将形成极大的短路电流，电源功率将全部消耗在电源内部，产生大量热量，可能将电源烧毁。总之，电源短路是一种严重事故，事故发生后，往往会造成电源和电气线路的损伤或毁坏。在实际工作中，应经常检查电气设备和线路的绝缘情况，以防止电压源短路事故的发生。另外，通常在电路中接入熔断器或自动断路器，以便在发生短路时，能迅速将故障电路与电源断开，避免发生严重后果。

### 3. 通路

通路就是将开关闭合，电源与负载接通，使电路构成闭合回路，也称有载工作状态或负载状态，如图 1-6(c) 所示，图中  $E$  为电源电动势， $R_i$  为电源的内阻， $R_L$  为负载电阻。有载工作状态时电路具有以下特点。

① 电路中的电流为

$$I = \frac{E}{R_i + R_L} \quad (1-5)$$

当  $E$ 、 $R_i$  一定时，电流由负载电阻  $R_L$  的大小决定。

② 电源的端电压（忽略线路上压降即负载端电压  $U_L$ ）为

$$U = E - R_i I \quad (1-6)$$

电源的端电压总是小于电源电动势。这是因为电源电动势减去内阻压降  $R_i I$  后，才是电源的输出电压  $U$ 。只有在电源内阻极小时，才可认为  $U \approx E$ 。

③ 电源的输出功率为

$$P = EI - I^2 R_i \quad (1-7)$$

式(1-7)表明，电源电动势产生的总功率  $EI$  减去内阻上消耗的功率  $I^2 R_i$  才是电源对外的输出功率，即电源电动势产生的总功率等于电源内阻和负载电阻所吸收的功率之和，由此可见，整个电路中的功率是平衡的，符合能量守恒定律。

#### 1.2.2 电气设备的额定值

为了使电气设备能够安全可靠地工作，任何电气设备和元器件在工作时都有一定的电流、电压和功率的使用限额，这些限额称为额定值。额定值通常用  $I_N$ 、 $U_N$ 、 $P_N$  等表示。额定值是制造厂对电气设备的使用规定，是保证电气设备正常可靠工作的条件，这些额定值常标注在设备的铭牌上。若超过额定值使用，往往就会导致过热、绝缘破坏，从而使设备寿命缩短，达不到规定的使用寿命；如果低于额定值使用，不仅得不到正常的工作情况（如电压过低，造成电动机的转矩减少，转速过低），而且也不能充分利用设备的工作能力。电气设备和元器件应尽量工作在额定状态（也称满载），即实际使用值等于额定值，此时不仅能保证电气工作可靠，而且具有足够的使用寿命；实际使用值低于额定值的工作状态称轻载；高于额定值的工作状态称过载，如果长时间过载，会缩短设备的使用寿命甚至损坏电气设备。例如一个白炽灯，上面标有“220V、40W”字样，指的是它的额定电压为 220V，额定功率为 40W。在使用时，应该接到 220V 的电源上，这时消耗的功率是 40W，灯泡发光正常，且能达到规定的使用寿命。如果把它接到 110V 的电源上，灯泡就很暗；如果接到 380V 的电源上，灯丝就会因为电流过大而烧毁，大大缩短使用寿命。

## 1.3 电路中各点电位的计算

### 1.3.1 电位的概念

在电路分析中,引入电位以后,可以简化电路的画法和计算。在计算各点电位时,首先要根据电路图明确该电路的参考点在哪里,图中标有接地符号“ $\perp$ ”的点就是参考点,参考点的电位规定为零。根据电位的定义:某点的电位等于该点到参考点之间的电压,若以  $O$  点为参考点,则任一点  $A$  的电位  $V_A = U_{AO}$ , 因此只要计算出各点到参考点的电压就是各点的电位。所以计算电位的方法与计算电压的方法完全相同。

需要强调的是:参考点的选择是任意的,一个电路中只能选择一个参考点;参考点的位置不同,电路中同一点的电位也不同,即电位的大小与参考点的选择有关;而电压则与参考点的选择无关。

在电子线路中,为了简化电路图,常采用电位标注法,即对于有一端接地(参考点)的电压源不再画出电压源符号,而只在电源的非接地的一端处标明电压的数值和极性,这种画法也叫做“习惯画法”。电路图 1-7(a) 的习惯画法如图 1-7(b) 所示。

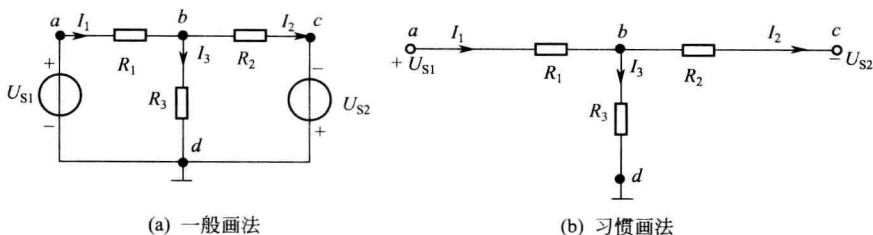


图 1-7 电路图的画法

### 1.3.2 电位的计算

下面,通过具体实例说明电位的计算方法。

**【例 1-1】** 电路如图 1-7(b) 所示。已知:  $R_1 = 2\Omega$ ,  $R_2 = 6\Omega$ ,  $R_3 = 6\Omega$ ,  $U_{S1} = 6V$ ,  $U_{S2} = 3V$ , 求电压  $V_b$ 。

**解** 设各支路电流的参考方向如图中所示,根据两点之间的电压就等于这两点之间的电位之差,可以分别列出各支路电流。

根据  $U_{ab} = V_a - V_b = 6 - V_b = 2I_1$ , 故电流  $I_1$  为

$$I_1 = \frac{6 - V_b}{2}$$

根据  $U_{bc} = V_b - V_c = V_b - (-3) = 6I_2$ , 故电流  $I_2$  为

$$I_2 = \frac{V_b + 3}{6}$$

同理得电流  $I_3$

$$I_3 = \frac{V_b}{6}$$

对于节点  $b$ , 根据 KCL 有

$$I_1 = I_2 + I_3$$

将  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  代入上式, 有



$$\frac{6-V_b}{2} = \frac{V_b+3}{6} + \frac{V_b}{6}$$

解得  $V_b = 3\text{V}$ 。

## 1.4 功率

### 1. 电功率

电功率是电路元件在单位时间内吸收或释放的电能，或者说电能对时间的变化率（即电能对时间的导数），简称功率。电功率的表达式为

$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-8)$$

式中， $w$  为电能，单位是焦耳（J）； $t$  为时间，单位是秒（s）； $u$  为电压，单位是伏特（V）； $i$  为电流，单位是安培（A）； $p$  为功率，用小写字母  $p$  表示随时间变化的功率，单位是瓦特（W），常用的单位还有千瓦（kW），毫瓦（mW）等。

在直流电路中，功率用大写字母  $P$  表示，功率计算公式为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

在电路分析中，不仅要计算电路元件功率的大小，有时还要判断功率的性质，即该元件是产生功率还是吸收功率（消耗功率）。产生功率的元件属于电源性质；而吸收功率（消耗功率）的元件属于负载性质。下面介绍功率性质的判别方法。

① 首先由电压  $U$  和电流  $I$  的参考方向确定功率计算公式（1-9）中的符号。

a. 当电压  $U$  和电流  $I$  为关联参考方向时，功率的计算公式取正号，即按下式计算

$$P = UI \quad (\text{或 } p = ui) \quad (1-10)$$

b. 当电压  $U$  和电流  $I$  为非关联参考方向时，功率的计算公式取负号，即按下式计算

$$P = -UI \quad (\text{或 } p = -ui) \quad (1-11)$$

② 再将已知的  $U(u)$  和电流  $I(i)$  的数值及符号代入相应的公式中得到计算结果。

③ 判断功率的性质：

a. 若计算结果  $P > 0$ ，表明该元件为吸收（或消耗）功率，属于负载性质；

b. 若计算结果  $P < 0$ ，表明该元件为产生功率，属于电源性质。

### 2. 电能

除了功率之外，有时还要计算一段时间内（ $t_1$  至  $t_2$ ）电路元件所消耗（或产生）的电能。电能的计算公式为

$$w = \int_{t_1}^{t_2} p dt = \int_{t_1}^{t_2} ui dt \quad (1-12)$$

在直流电路中，电能的计算公式为

$$W = Pt = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-13)$$

式中， $t$  为通电时间，在国际单位制中，电能的单位是焦耳（J）；在实际应用中常以千瓦时（kW·h）作为电能单位，千瓦时俗称度。1度 = 1千瓦 × 1小时 = 1千瓦·时（kW·h），即1度电等于功率为1kW的用电设备在1h内所消耗的电能。换算关系如下

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

# 1.5 理想电路元件

## 1.5.1 电阻元件

电阻元件是表示电路中消耗电能的理想元件。电流通过它时，将受到阻碍，沿电流方向产生电压降，当电压与电流为关联参考方向时，如图 1-8(a) 所示，欧姆定律的表达式为

$$U=RI \quad (1-14)$$



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向

当电压与电流为非关联参考方向时，如图 1-8(b) 所示，欧姆定律的表达式为

$$U=-RI \quad (1-15)$$

图 1-8 电阻元件

式中， $R$  表示电阻元件的电阻，单位为欧姆 ( $\Omega$ )，常用的单位还有千欧 ( $k\Omega$ )、兆欧 ( $M\Omega$ ) 等。

电阻的倒数叫做电导，用字母  $G$  表示，即

$$G=\frac{1}{R} \quad (1-16)$$

电导的单位为西门子，简称西 ( $S$ )。

电阻元件既可以用电阻  $R$  表示，也可以用电导  $G$  表示，用电导表示时，欧姆定律表达为

$$I=GU \quad (1-17)$$

在关联参考方向下，电阻元件上的电压和电流总是同号的，由式(1-10)可以看出，电阻的功率  $P$  总是正值，即总是在吸收（消耗）功率，因此，电阻元件是耗能元件。电阻消耗的功率为

$$P=UI=I^2R=\frac{U^2}{R}=GU^2 \quad (1-18)$$

## 1.5.2 电感元件

电感元件是一种储存磁场能的理想元件，简称电感，如图 1-9(a) 所示。

当电感线圈中通入电流  $i$ ，电流在该线圈中将产生磁通  $\Phi$ ，由电磁感应定律可知： $i$  与  $\Phi$  的参考方向由右手螺旋定则确定，如图 1-9(b) 所示。如果线圈的匝数为  $N$ ，且穿过每一匝线圈的磁通都是  $\Phi$ ，则总磁通（磁链）为  $\Psi=N\Phi$ ，磁链  $\Psi$  与电流的比值  $L$  叫做电感，即

$$L=\frac{\Psi}{i} \quad (1-19)$$

电感  $L$  的单位是亨利 ( $H$ )、毫亨 ( $mH$ ) 和微亨 ( $\mu H$ )，换算关系如下

$$1H=10^3mH=10^6\mu H$$

若电感  $L$  是常量，此电感称为线性电感；否则为非线性电感。这里只分析线性电感。

当电感线圈中的电流  $i$  变化时，磁通  $\Phi$  和磁链  $\Psi$  也随之变化，根据电磁感应定律，在线圈中就会产生感应电动势  $e$ ，感应电动势  $e$  的大小与磁链对时间的变化率成正比。当电压  $u$ 、电流  $i$ 、电动势  $e$  均为关联参考方向时，如图 1-9(a) 所示，则有

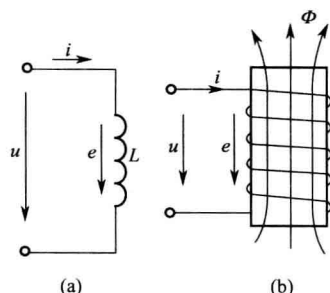


图 1-9 电感元件