



高职高专“十一五”规划教材

# 电子工艺实训与 Protel DXP应用

## Dianzi Gongyi Shixun yu Protel DXP Yingyong

高明远 主 编  
李继方 杜诗超 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 电子工艺实训与 Protel DXP 应用

高明远 主编

李继方 杜诗超 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是根据电类各专业对电子工艺实训和职业资格证书考试的具体要求,结合多年来的教学实践和EDA技术发展的形势,并针对学生实践能力和创新能力的培养而编写的一本实践性较强的教材。

全书的前3章为电子工艺基础,主要介绍电子元器件、印刷电路板和电子电路的焊接与调试;第4章推荐几个典型的电子工艺综合实训,强化知识理解和提高动手操作能力;在此基础上,第5章~第8章介绍目前使用较广泛的Protel DXP软件,讲述电子电路的原理图设计和印刷电路板的设计。

本书可作为普通高等院校和高职高专院校电子类、电气类、计算机类、自动化类及机电类等专业的电子设计自动化(EDA)教材,可作为计算机辅助设计(Protel平台)职业资格证书考试用书,也可作为计算机、电子产品、仪器仪表等方面的工程技术人员及电子爱好者的参考书。

#### 图书在版编目(CIP)数据

电子工艺实训与 Protel DXP 应用 / 高明远主编. —北京: 化学工业出版社, 2007.7

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-00654-7

I. 电… II. 高… III. ①电子技术-高等学校: 技术学院-教材②印刷电路-计算机辅助设计-应用软件, Protel DXP-高等学校: 技术学院-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 091129 号

---

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 宋 夏

装帧设计: 3A 艺术设计工作室

---

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: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 484 千字 2007 年 8 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: 29.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

人类社会已进入到高度发达的信息化社会，信息社会的发展离不开电子产品的进步。现代电子产品在性能提高、复杂度增大的同时，价格却一直呈下降趋势，而且产品更新换代的步伐也越来越快，实现这种进步的主要原因就是生产制造技术和电子设计技术的发展。前者以微细加工技术为代表，目前已进展到亚微米阶段，可以在几平方厘米的芯片上集成数千万个晶体管；后者的核心就是 EDA（Electronic Design Automation，电子设计自动化）技术。

本书从实用角度出发，全面介绍了电子元器件分类、命名及标称方法，介绍了印刷电路板的知识，在此基础上介绍了 Protel DXP 基本操作及使用环境，并详细讲解了电路原理图的设计、印刷电路板的设计。在讲解过程中，以实例贯通全书，体现了作者丰富的电子线路设计的经验。

本书主要介绍电子元器件、印刷电路板和电子电路的焊接与调试；为了强化知识理解和提高动手操作能力，介绍了几个典型的电子工艺综合实训，在此基础上，讲述电子电路的原理图设计和印刷电路板的设计。

本书由高明远主编，李继方、杜诗超为副主编。其中第 1 章～第 3 章由霍海波编写，第 4 章由刘许亮编写，第 5 章由李继方编写，第 6 章由邓娜编写，第 7 章由杜诗超编写，第 8 章由高明远编写。全书由高明远统稿。由于编写时间仓促，本书疏漏之处，敬请读者批评指正。同时感谢开封友谊电子科技有限公司提供实训套件。

本书中有些线路图为了保持与软件的一致性，保留了软件的电路符号标准，因此部分电路符号与国家标准不一致，特向读者表示歉意。

编者  
2007.5

# 目 录

## 第一篇 电子工艺基础

|                    |    |                          |    |
|--------------------|----|--------------------------|----|
| 第1章 电子元器件          | 1  | 1.7.3 表面粘贴元器件的封装形式、命名及识别 | 22 |
| 1.1 电阻器            | 1  | 1.8 其他器件                 | 30 |
| 1.1.1 电阻器的分类       | 1  | 1.8.1 开关                 | 30 |
| 1.1.2 电阻器的主要参数     | 2  | 1.8.2 继电器                | 30 |
| 1.1.3 电阻器的标称方法     | 3  | 1.8.3 接插件                | 31 |
| 1.1.4 电阻器的测试及代换    | 4  | 习题                       | 32 |
| 1.2 电容器            | 6  | 第2章 印刷电路板                | 33 |
| 1.2.1 电容器的分类       | 7  | 2.1 概述                   | 33 |
| 1.2.2 电容器的参数       | 7  | 2.1.1 印刷电路板的概念及构成        | 33 |
| 1.2.3 电容器的标称方法     | 7  | 2.1.2 印刷电路板的分类           | 34 |
| 1.2.4 电容器的测试及代换    | 8  | 2.1.3 印刷电路板的形成制作流程       | 35 |
| 1.3 电感器            | 9  | 2.2 印刷电路板的设计             | 35 |
| 1.3.1 电感器的分类       | 9  | 2.2.1 印刷电路板的设计目标         | 36 |
| 1.3.2 电感器的主要参数     | 9  | 2.2.2 印刷电路板的设计方法和原则      | 36 |
| 1.3.3 电感器的测试及代换    | 10 | 2.2.3 印刷电路板制造工艺简介        | 45 |
| 1.4 变压器            | 10 | 2.2.4 印刷电路板的检验           | 52 |
| 1.4.1 变压器的主要特征参数   | 11 | 习题                       | 53 |
| 1.4.2 变压器的组件       | 11 | 第3章 电子电路的焊装与调试           | 54 |
| 1.4.3 变压器的检测       | 11 | 3.1 元件的焊装方式              | 54 |
| 1.5 半导体分立元件        | 11 | 3.1.1 焊接工具及材料            | 54 |
| 1.5.1 二极管          | 12 | 3.1.2 焊接工艺及质量标准          | 59 |
| 1.5.2 三极管          | 13 | 3.1.3 元件的安装              | 60 |
| 1.5.3 晶闸管          | 15 | 3.2 印刷电路板的焊接             | 63 |
| 1.5.4 场效应晶体管       | 15 | 3.2.1 手工焊接技艺             | 64 |
| 1.5.5 光电器件         | 15 | 3.2.2 易损元件的焊接            | 65 |
| 1.6 集成电路           | 18 | 3.2.3 拆焊                 | 65 |
| 1.6.1 集成电路的分类及命名   | 18 | 3.2.4 浸焊与波峰焊             | 67 |
| 1.6.2 集成电路的封装形式及识别 | 20 | 3.3 电子电路的调试              | 71 |
| 1.6.3 数字集成电路       | 21 | 3.3.1 调试技术               | 71 |
| 1.6.4 模拟集成电路       | 21 | 3.3.2 电路故障的分析与排除         | 73 |
| 1.6.5 集成电路使用注意事项   | 21 | 习题                       | 75 |
| 1.7 表面粘贴器件         | 21 |                          |    |
| 1.7.1 表面粘贴技术简介     | 22 |                          |    |
| 1.7.2 表面粘贴元器件的分类   | 22 |                          |    |

## 第二篇 电 装 实 训

|                        |    |                          |    |
|------------------------|----|--------------------------|----|
| 第4章 电子技术综合实训 .....     | 76 | 4.2.3 制作步骤及工艺要求 .....    | 86 |
| 4.1 收音机的安装与调试 .....    | 76 | 4.2.4 检测与调试 .....        | 89 |
| 4.1.1 实训目的 .....       | 76 | 4.2.5 产品性能指标要求 .....     | 91 |
| 4.1.2 电路组成及工作原理 .....  | 76 | 4.2.6 实训报告 .....         | 91 |
| 4.1.3 实训设备与器件 .....    | 78 | 4.3 红外线遥控器的安装与调试 .....   | 92 |
| 4.1.4 收音机的安装与调试 .....  | 80 | 4.3.1 实训目的 .....         | 92 |
| 4.1.5 实训报告 .....       | 84 | 4.3.2 电路特点、组成及工作原理 ..... | 92 |
| 4.2 多用充电器的安装与调试 .....  | 85 | 4.3.3 实训设备及整机元器件 .....   | 95 |
| 4.2.1 实训目的 .....       | 85 | 4.3.4 安装与调试 .....        | 95 |
| 4.2.2 电路的组成及工作原理 ..... | 85 | 4.3.5 实训报告 .....         | 96 |

## 第三篇 电子线路自动化设计技术

|                                 |     |                            |     |
|---------------------------------|-----|----------------------------|-----|
| 第5章 Protel DXP 原理图设计 .....      | 97  | 5.5.1 原理图元件库管理器的使用 .....   | 126 |
| 5.1 认识 Protel DXP .....         | 98  | 5.5.2 常用元件库介绍 .....        | 128 |
| 5.1.1 设计环境 .....                | 98  | 5.6 电路组件的操作 .....          | 128 |
| 5.1.2 设计内容 .....                | 99  | 5.6.1 组件的选取 .....          | 128 |
| 5.2 原理图编辑器 .....                | 100 | 5.6.2 组件的拷贝 .....          | 131 |
| 5.2.1 主菜单栏 .....                | 100 | 5.6.3 组件的旋转与排列 .....       | 136 |
| 5.2.2 标准工具栏 .....               | 101 | 5.6.4 整体编辑 .....           | 140 |
| 5.2.3 常用工具栏 .....               | 101 | 5.7 绘制原理图实例 .....          | 143 |
| 5.2.4 编辑窗口 .....                | 102 | 5.7.1 新建一个原理图文档 .....      | 143 |
| 5.2.5 状态栏 .....                 | 102 | 5.7.2 设置图纸尺寸及版面 .....      | 143 |
| 5.2.6 命令提示栏 .....               | 102 | 5.7.3 设置工作环境 .....         | 144 |
| 5.3 图纸和栅格的设置 .....              | 102 | 5.7.4 加载元件库 .....          | 144 |
| 5.3.1 图纸的设置 .....               | 102 | 5.7.5 在原理图上放置元件 .....      | 145 |
| 5.3.2 栅格的设置 .....               | 105 | 5.7.6 连接电路 .....           | 153 |
| 5.3.3 光标的设置 .....               | 107 | 5.7.7 图纸输出 .....           | 155 |
| 5.4 原理图电气工具的使用 .....            | 108 | 5.8 快速绘制原理图举例 .....        | 157 |
| 5.4.1 导线 (Wire) .....           | 109 | 5.8.1 8254 计数器的局部原理图 ..... | 157 |
| 5.4.2 总线 (Bus) .....            | 111 | 5.8.2 功率放大电路的设计 .....      | 158 |
| 5.4.3 总线引入线 (Bus Entry) .....   | 112 | 5.8.3 译码电路的设计 .....        | 160 |
| 5.4.4 网络标签 (Net Label) .....    | 113 | 5.9 设置和编译项目 .....          | 162 |
| 5.4.5 电源端子 (Power Port) .....   | 114 | 5.9.1 检查原理图的电气参数 .....     | 163 |
| 5.4.6 元件 (Part) .....           | 116 | 5.9.2 设置比较器 .....          | 164 |
| 5.4.7 电气节点 (Junction) .....     | 121 | 5.9.3 “ECO” 设置 .....       | 164 |
| 5.4.8 输入/输出端口 (Port) .....      | 121 | 5.9.4 输出路径和网络表设置 .....     | 165 |
| 5.4.9 子图符号 (Sheet Symbol) ..... | 122 | 5.9.5 项目打印输出的设置 .....      | 166 |
| 5.4.10 子图出入口 .....              |     | 5.9.6 多通道设计的设置 .....       | 166 |
| (Sheet Entry) .....             | 124 | 5.9.7 搜索路径设置 .....         | 166 |
| 5.5 原理图元件库管理器 .....             | 126 | 5.9.8 编译项目 .....           | 167 |

|                                  |            |                                |            |
|----------------------------------|------------|--------------------------------|------------|
| 5.10 原理图报表输出 .....               | 168        | 7.3 印刷电路板的设计 .....             | 227        |
| 5.10.1 创建网络表 .....               | 168        | 7.3.1 用向导创建 PCB 文件 .....       | 227        |
| 5.10.2 创建元件清单 .....              | 171        | 7.3.2 转换设计 .....               | 230        |
| 5.10.3 产生元件交叉参考表 .....           | 173        | 7.3.3 定义 PCB 工作板层 .....        | 231        |
| 习题 .....                         | 175        | 7.3.4 电路板设计的环境设置 .....         | 232        |
| <b>第 6 章 原理图元件的设计 .....</b>      | <b>178</b> | 7.3.5 设计规则设置 .....             | 233        |
| 6.1 认识元件库编辑器和管理器 .....           | 178        | 7.3.6 元件的布局 .....              | 237        |
| 6.1.1 元件库编辑器 .....               | 178        | 7.3.7 印刷电路板的布线 .....           | 240        |
| 6.1.2 元件库管理器 .....               | 182        | 7.3.8 双层电路板的设计 .....           | 243        |
| 6.2 设计元件 .....                   | 188        | 7.3.9 多层电路板的设计 .....           | 244        |
| 6.2.1 设计新元件 .....                | 188        | 7.3.10 PCB 设计特殊技巧 .....        | 246        |
| 6.2.2 复制元件 .....                 | 194        | 7.3.11 PCB 网络管理 .....          | 254        |
| 6.3 元件库报表 .....                  | 195        | 7.3.12 印刷电路板输出与报表 .....        | 259        |
| 6.3.1 元件报表 .....                 | 195        | 习题 .....                       | 267        |
| 6.3.2 元件库报表 .....                | 195        | <b>第 8 章 创建 PCB 元件封装 .....</b> | <b>272</b> |
| 6.3.3 生成项目的元件库 .....             | 195        | 8.1 认识元件封装编辑器 .....            | 272        |
| 习题 .....                         | 196        | 8.2 手工创建新的元件封装 .....           | 273        |
| <b>第 7 章 印刷电路板设计 .....</b>       | <b>197</b> | 8.2.1 元件封装库编辑系统 .....          |            |
| 7.1 印刷电路板的基础知识 .....             | 197        | 环境设置 .....                     | 274        |
| 7.1.1 印刷电路板的结构 .....             | 197        | 8.2.2 创建元件封装 .....             | 275        |
| 7.1.2 印刷电路板的常用术语 .....           | 197        | 8.3 利用向导创建元件封装 .....           | 277        |
| 7.1.3 印刷电路板设计的一般 .....           |            | 8.4 元件库管理器 .....               | 280        |
| 原则 .....                         | 200        | 8.4.1 认识 PCB 元件库管理器 .....      | 280        |
| 7.2 PCB 编辑器 .....                | 203        | 8.4.2 元件封装管理器的应用 .....         | 282        |
| 7.2.1 认识 PCB 编辑器 .....           | 203        | 8.5 生成专用元件封装库 .....            | 283        |
| 7.2.2 加载元件封装库 .....              | 204        | 习题 .....                       | 284        |
| 7.2.3 PCB 编辑器工具栏的 .....          |            |                                |            |
| 使用和组件编辑 .....                    | 206        |                                |            |
| <b>附录 Protel DXP 元件库集锦 .....</b> | <b>286</b> |                                |            |
| <b>参考文献 .....</b>                | <b>288</b> |                                |            |



# 第一篇 电子工艺基础

## 第1章 电子元器件

随着电子技术及其应用领域的迅速发展,所用的元器件种类日益增多。学习和掌握常用元器件的性能、用途、质量判别方法,对提高电气设备的装配质量及可靠性将起重要的保证作用。本章主要介绍常用元器件的性能、命名、标识、封装等基础知识;使读者能识别各类常用元器件,对其性能有初步了解,能解决工作中常见的元器件方面的问题。

### 1.1 电阻器

导体对电流的阻碍作用称为电阻。它是导体的一种基本性质,与导体的尺寸、材料、温度有关。电阻的基本单位是欧姆,用希腊字母“ $\Omega$ ”表示,常用单位还有千欧(k $\Omega$ ),兆欧(M $\Omega$ )等。在电子线路中,具有电阻性能的实体元件称为电阻器。电阻器在电路中的主要作用为:分流、分压、限流、偏置等。常用电阻器的外形结构及电路符号如图 1-1 所示。

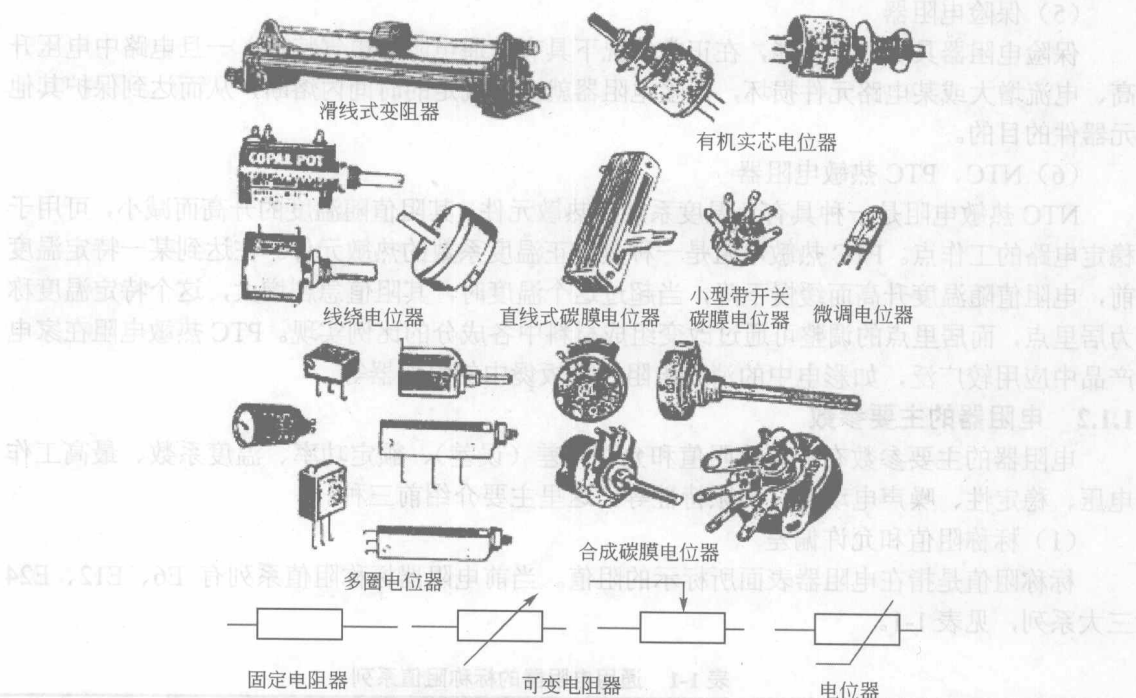


图 1-1 常用电阻器的外形结构及电路符号

#### 1.1.1 电阻器的分类

常用的电阻器有:碳膜电阻器,金属膜电阻器,合成膜电阻器,线绕电阻器,保险电阻器,NTC、PTC 热敏电阻器等。



### (1) 碳膜电阻器

碳膜电阻是由碳沉积在瓷介质基体上制成的,通过改变碳膜的厚度或长度获得不同的电阻值。其主要特点是高频特性好、价格低,但精度差。它广泛用于家电产品中(如收录音机、电视机等)。

### (2) 金属膜电阻器

金属膜电阻是在真空条件下,在瓷介质基体上沉积一层合金粉制成。通过调整金属膜的厚度或长度获得不同的电阻值。其主要特点是耐高温。当环境温度升高后,其阻值随温度的变化很小,高频特性好,精度高,在精密仪表和要求较高的电子系统中使用。

### (3) 合成膜电阻器

合成膜电阻器包括合成漆膜电阻器、合成碳质实心电阻器和金属玻璃釉电阻器等。

① 合成漆膜电阻器是由炭黑、石墨和填充料用树脂漆作黏结剂经加热聚合而成的浸涂在陶瓷基体表面的漆膜,主要用作高阻电阻器和高压电阻器。

② 合成碳质实心电阻器是由炭黑、石墨、填充料和黏结剂混合压制并经加热聚合而成的实心电阻体,作为普通电阻器用在电路中。

③ 金属玻璃釉电阻器是在陶瓷或玻璃基体上主要用金属、金属氧化物,以玻璃釉作黏结剂加上有机黏结剂混合成,经烘干、高温烧结而成电阻膜,又称厚膜电阻器。

### (4) 线绕电阻器

线绕电阻器是用康铜或锰铜丝绕在绝缘骨架上制成。它具有功率大、耐高温、噪声小、精度高等优点,但分布电感大,高频特性差,适用于在低频、高温、大功率等场合使用。

### (5) 保险电阻器

保险电阻器具有双重功能,在正常情况下具有普通电阻的电气特性,一旦电路中电压升高、电流增大或某电路元件损坏,保险电阻器就会在规定的时间内熔断,从而达到保护其他元器件的目的。

### (6) NTC、PTC 热敏电阻器

NTC 热敏电阻是一种具有负温度系数的热敏元件,其阻值随温度的升高而减小,可用于稳定电路的工作点。PTC 热敏电阻是一种具有正温度系数的热敏元件。在达到某一特定温度前,电阻值随温度升高而缓慢下降,当超过这个温度时,其阻值急剧增大,这个特定温度称为居里点,而居里点的调整可通过改变组成材料中各成分的比例实现。PTC 热敏电阻在家电产品中应用较广泛,如彩电中的消磁电阻、电饭煲中的温控器等。

## 1.1.2 电阻器的主要参数

电阻器的主要参数有:标称阻值和允许偏差(误差)、额定功率、温度系数、最高工作电压、稳定性、噪声电动势、高频特性等。这里主要介绍前三种。

### (1) 标称阻值和允许偏差

标称阻值是指在电阻器表面所标示的阻值。当前电阻器标称阻值系列有 E6、E12、E24 三大系列,见表 1-1。

表 1-1 通用电阻器的标称阻值系列

| 系 列 | 容 许 偏 差   | 电 阻 值                                                                                                                            |
|-----|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E24 | ±5% (一级)  | 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.4, 2.7, 3.0, 3.3, 3.6, 3.9, 4.0, 4.3, 4.7, 5.1, 5.6, 6.2, 6.8, 7.5, 8.2, 9.1 |
| E12 | ±10% (二级) | 1.0, 1.2, 1.5, 1.8, 2.2, 2.7, 3.3, 3.9, 4.7, 5.6, 6.8, 8.2                                                                       |
| E6  | ±20% (三级) | 1.0, 1.5, 2.2, 3.3, 4.7, 6.8                                                                                                     |

① 线绕和固定或非线绕电阻器的标称阻值,应符合表中所列数值之一(或表列数值再乘

以  $10^n$ , 其中  $n$  为正数)。

② 线绕电位器的标称阻值采取 E12、E6 两个系列; 容许偏差分为  $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$  四种, 其中后两种仅限必要时采用。

③ 非线绕电位器的标称阻值采取 E12、E6 两个系列; 容许偏差分为  $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、三种, 其中  $\pm 5\%$  仅限必要时采用。

电阻器的标称阻值为表 1-1 中所列数值的  $10^n$  倍, 以 E6 系列中的标称值 2.2 为例, 它所对应的电阻器的标称阻值可为:  $2.2\Omega$ ,  $22\Omega$ ,  $220\Omega$ ,  $2.2k\Omega$ ,  $22k\Omega$ ,  $220k\Omega$  和  $2.2M\Omega$  等。其他系列照此类推。

对于实际的电阻器, 其实际阻值与标称阻值之间有一定的偏差, 把标称阻值与实际阻值之间允许的最大偏差范围与标称阻值的比值的百分比叫做电阻的允许偏差。若偏差越小, 电阻器的精度越高。电阻器的偏差范围有明确的规定, 允许误差与精度等级对应关系如下:  $0.5\%-0.05$ 、 $\pm 1\%-0.1$  (或 00)、 $\pm 2\%-0.2$  (或 0)、 $\pm 5\%$ -I 级、 $\pm 10\%$ -II 级、 $\pm 20\%$ -III 级。

### (2) 额定功率

额定功率是指在正常的大气压力  $90\sim 106.6kPa$  及环境温度为  $-55\sim +70^\circ C$  的条件下, 电阻器长期工作所允许耗散的最大功率。它是选择电阻器的主要参数之一。各种功率的电阻器在电路图中采用不同的符号表示, 如图 1-2 所示。

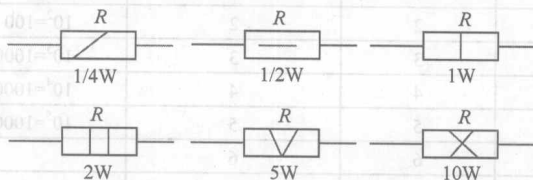


图 1-2 电阻器额定功率在电路图中的表示方法

### (3) 温度系数

温度系数是指温度每变化  $1^\circ C$  所引起的电阻值的相对变化。温度系数越小, 电阻器的稳定性越好。阻值随温度升高而增大的为正温度系数, 反之为负温度系数。

### 1.1.3 电阻器的标称方法

电阻器的主要参数通常标注在其表面上, 通常有四种标注方法。

#### (1) 直标法

用数字和单位符号在电阻器表面标出阻值的标注方法, 其允许误差直接用百分数表示, 若电阻器上未标注偏差, 则均为  $\pm 20\%$  的误差。此种方法直观、一目了然, 但如果电阻器体积较小, 则无法这样标注。

#### (2) 文字符号法

用阿拉伯数字和文字符号两者有规律的组合来表示标称阻值, 其允许误差也用文字符号表示。符号前面的数字表示整数阻值, 后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值。用文字符号表示电阻的单位: 欧姆  $\Omega$  (1 欧姆), 千欧  $k\Omega$  ( $10^3$  欧姆), 兆欧  $M\Omega$  ( $10^6$  欧姆), 千兆欧  $G\Omega$  ( $10^9$  欧姆), 兆兆欧  $T\Omega$  ( $10^{12}$  欧姆)。

表示允许误差的文字符号 D、F、G、J、K、M 依次表示允许偏差为  $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。

例如 6R2J 表示电阻值为 6.2 欧, 允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

#### (3) 色标法

用不同颜色的环或点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差, 清晰明了。国际上惯用色

标法，色环电阻占据着电阻器元件的主流地位。

色环电阻，顾名思义，就是在电阻器上用不同颜色的环来表示电阻的规格。如图 1-3 所示电阻的色环标注方法，图 1-3 (a) 用 4 条色环表示，图 1-3 (b) 用 5 条。4 环电阻，一般是碳膜电阻，用 3 条色环来表示阻值，用 1 条色环表示误差。5 环电阻一般是金属膜电阻，为更好地表示精度，用 4 条色环表示阻值，另一条色环表示误差。具体每条色环表示内容见表 1-2 色环电阻的颜色-数码对照表。

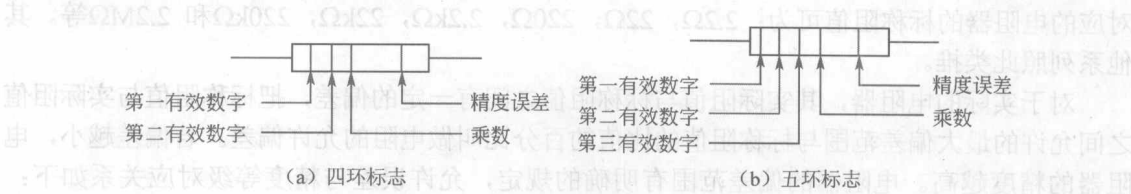


图 1-3 电阻的色环标注方法

表 1-2 色环电阻的颜色-数码对照表

| 颜 色 | 第 1 数字            | 第 2 数字 | 第 3 数字 (五环电阻) | 乘 数            | 误 差          |
|-----|-------------------|--------|---------------|----------------|--------------|
| 黑   | 0                 | 0      | 0             | $10^0=1$       |              |
| 棕   | 1                 | 1      | 1             | $10^1=10$      | $\pm 1\%$    |
| 红   | 2                 | 2      | 2             | $10^2=100$     | $\pm 2\%$    |
| 橙   | 3                 | 3      | 3             | $10^3=1000$    |              |
| 黄   | 4                 | 4      | 4             | $10^4=10000$   |              |
| 绿   | 5                 | 5      | 5             | $10^5=100000$  | $\pm 0.5\%$  |
| 蓝   | 6                 | 6      | 6             |                | $\pm 0.25\%$ |
| 紫   | 7                 | 7      | 7             |                | $\pm 0.1\%$  |
| 灰   | 8                 | 8      | 8             |                |              |
| 白   | 9                 | 9      | 9             |                |              |
| 金   | 注：第 3 数字是五色环电阻才有。 |        |               | $10^{-1}=0.1$  | $\pm 5\%$    |
| 银   |                   |        |               | $10^{-2}=0.01$ | $\pm 10\%$   |

普通电阻用 4 条色环表示，其中前 3 条表示阻值，后 1 条表示误差。具体为：第一、二环是有效数值，第三环是乘数（即 10 的几次方），第四环是允许偏差。

例如第一环是棕色的，第二环是黑色的，第三环是红色的，第四环是金色的，那么它的电阻值是 1、0，第三环是添零的个数，这个电阻添 2 个零，所以它的实际阻值是  $1000\Omega$ ，即  $1k\Omega$ 。

精密电阻用 5 条色环表示，具体为第一、二、三环是有效数值，第四环是乘数（即 10 的几次方），第五环是允许偏差。

注意：读色环的顺序是以靠近电阻器引线的色环是第一环，若两端色环与两端引线等距离时，可借助于电阻的标称值系列以及色环符号的规定中有效数字与偏差的特点来判断。

(4) 数码表示法

数码表示法是在电阻器上用三位数码表示标称值的标注方法。数码从左至右，第一、二位为有效值，第三位为乘数，即零的个数，单位为  $\Omega$ 。例如

334 表示： $33 \times 10^4 \Omega = 330 k\Omega$ ；275 表示： $27 \times 10^5 \Omega = 2.7 M\Omega$

1.1.4 电阻器的测试及代换

(1) 电阻器额定功率的简易判断

小型电阻器的额定功率一般在电阻体上并不标出。但根据电阻器长度和直径大小是可以

确定其额定功率值大小的。表 1-3 列出了常用的不同长度、直径的碳膜电阻和金属膜电阻所对应的额定功率值。

表 1-3 常用电阻额定功率表

| 额定功率/W | 碳膜电阻 (RT) |       | 金属膜电阻 (RJ) |         |
|--------|-----------|-------|------------|---------|
|        | 长度/mm     | 直径/mm | 长度/mm      | 直径/mm   |
| 1/8    | 11        | 3.9   | 6~7        | 2~2.5   |
| 1/4    | 18.5      | 5.5   | 7~8.3      | 2.5~2.9 |
| 1/2    | 28.5      | 5.5   | 10.8       | 4.2     |
| 1      | 30.5      | 7.2   | 13         | 6.6     |
| 2      | 48.5      | 9.5   | 18.5       | 8.6     |

(2) 测量实际电阻值

电阻器的好坏可直接观看引线是否折断、电阻体是否烧焦等作出判断。阻值可用万用表合适的电阻挡进行测量，测量时应避免测量误差。

① 将万用表的功能选择开关旋转到适当量程的电阻挡，先调整零点，然后再进行测量，并且在测量中每次变换量程，都必须重新调零后再使用。

② 将两表笔（不分正负）分别与电阻的两端相接即可测出实际电阻值。

注意：在测量操作中要注意的事项。

① 测试时，特别是在测几十千欧以上阻值的电阻时，手不要触及表笔和电阻的导电部分。

② 被检测的电阻必须从电路中焊下来，至少要焊开一个头，以免电路中的其他元件对测试产生影响，造成测量误差。

③ 色环电阻的阻值虽然能以色环标注来确定，但在使用时最好还是用万用表测量一下其实际阻值。

④ 在测量敏感电阻时，当敏感源（光、热、气等）发生变化时，用万用表的欧姆挡检测敏感电阻的阻值。若敏感电阻值也明显变化，说明该敏感电阻是好的；若敏感电阻值变化很小，或几乎不变，则敏感电阻出现故障。

(3) 电阻器的代换

在实际应用中，如果找不到所用型号电阻器，就要考虑用别的电阻代换了，代换方法如下。

① 固定电阻器的代换。

普通固定电阻器损坏后，可以用额定功率、额定阻值均相同的碳膜电阻器或金属膜电阻器代换。

碳膜电阻器损坏后，可以用额定功率及额定阻值相同的金属膜电阻器代换。

若手中没有同规格的电阻器更换，也可以用电阻器串联或并联的方法作应急处理。利电阻串联公式 ( $R \sum = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$ ) 将低阻值电阻器变成所需的高阻值电阻器，利用电阻并联公式 ( $1/R \sum = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \cdots + 1/R_n$ ) 将高阻值电阻器变成所需的低阻值电阻器。

② 热敏电阻器的代换。

热敏电阻器损坏后，若无同型号的产品更换，则可选用与其类型及性能参数相同或相近的其他型号热敏电阻器代换。

消磁用 PTC 热敏电阻器可以用与其额定电压值相同、阻值相近的同类热敏电阻器代用。例如，20Ω 的消磁用 PTC 热敏电阻器损坏后，可以用 18Ω 或 27Ω 的消磁用 PTC 热敏电阻器直接代换。



压缩机启动用 PTC 热敏电阻器损坏后, 应使用同型号热敏电阻器代换或与其额定阻值、额定功率、启动电流、动作时间及耐压值均相同的其他型号热敏电阻器代换, 以免损坏压缩机。

温度检测、温度控制用 NTC 热敏电阻及过电流保护用 PTC 热敏电阻损坏后, 只能使用与其性能参数相同的同类热敏电阻器更换, 否则会造成应用电路不工作或损坏。

### ③ 压敏电阻器的代换。

压敏电阻器损坏后, 应更换与其型号相同的压敏电阻器或用与其参数相同的其他型号压敏电阻器来代换。代换时, 不能任意改变压敏电阻器的标称电压及通流容量, 否则会失去保护作用, 甚至会被烧毁。

### ④ 光敏电阻器的代换。

光敏电阻器损坏后, 若无同型号的光敏电阻器更换, 则可以选用与其类型相同、主要参数相近的其他型号光敏电阻器来代换。

光谱特性不同的光敏电阻器 (例如可见光光敏电阻器、红外光光敏电阻器、紫外光光敏电阻器), 即使阻值范围相同, 也不能相互代换。

### ⑤ 熔断电阻器的代换。

熔断电阻器损坏后, 若无同型号熔断电阻器更换, 也可以用与其主要参数相同的其他型号熔断电阻器代换或用电阻器与熔断器串联后代用。

用电阻器与熔断器串联来代换熔断电阻器时, 电阻器的阻值应与损坏熔断电阻器的阻值和功率相同, 而熔断器的额定的电流  $I$  可根据以下的公式计算得出:  $I = \sqrt{0.6P/R}$  (式中,  $P$ ——原熔断电阻器的额定功率;  $R$ ——原熔断电阻器的电阻值)。

对电阻值较小的熔断电阻器, 也可以用熔断器直接代用。熔断器的额定电流值也可以根据上述的计算公式计算出。

## 1.2 电容器

电容器是一种储能元件, 也是组成电子电路的基本元件之一。在电子电路中起到耦合、滤波、隔直流和调谐等作用。用字母 “C” 表示。常用电容器的外形结构见图 1-4。



图 1-4 常用电容器外形结构图

电容器容量的大小表明了存储电荷能力的强弱，它的基本单位是法拉(F)。由于法拉这个单位太大，因而常采用较小的单位，如毫法(mf)、微法( $\mu\text{F}$ )、纳法(nF)和皮法(pF)。其换算关系为

$$1\text{F}=10^3\text{mF}=10^6\mu\text{F}=10^9\text{nF}=10^{12}\text{pF}$$

### 1.2.1 电容器的分类

电容器按结构可分为固定电容器、可变电容器和微调电容器；按绝缘介质可分为空气介质电容器、云母电容器、瓷介电容器、涤纶电容器、聚苯烯电容器、金属化纸电容器、电解电容器、玻璃釉电容器、独石电容器等。

### 1.2.2 电容器的参数

#### (1) 标称容量和允许偏差

标称容量越大，电容器储存电荷的能力越强。标称容量和允许偏差也分许多系列，常用的是E6、E12、E24系列。电容器的允许偏差系列为： $\pm 5\%$ ， $\pm 10\%$ ， $\pm 20\%$ ， $-20\% \sim +50\%$ ， $-10\% \sim +100\%$ 。

#### (2) 额定电压

额定电压通常也称耐压，是指在允许的环境温度范围内，电容器在电路中长期可靠地工作所允许加的最大直流电压。工作时交流电压的峰值不得超过电容器的额定电压，否则电容器中介质会被击穿造成电容器的损坏。

#### (3) 绝缘电阻

绝缘电阻是指电容器两极之间的电阻，也称漏电阻。一般电容器绝缘电阻在 $10^8 \sim 10^{10}\Omega$ 之间，电容量越大绝缘电阻越小，所以不能单凭所测绝缘电阻值的大小来衡量电容器的绝缘性能。

此外，电容器的技术参数还有电容器的损耗、频率特性、温度系数、稳定性和可靠性等。

### 1.2.3 电容器的标称方法

#### (1) 直标法

直标法是指在电容体表面直接标注主要技术指标的方法。一般必须标注标称容量、额定电压及允许偏差这三项参数，有些体积太小的电容器仅标容量一项，见图1-5。

例如 密封云母电容器  $0.1\mu\text{F}$   
误差 $\pm 5\%$   
耐压 500V

固体电介质钽电解电容器  $4.7\mu\text{F}$   
误差 $\pm 10\%$   
耐压 16V

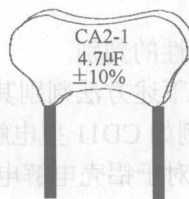
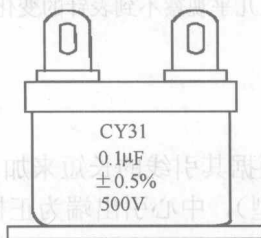


图 1-5 电容器直标法图

#### (2) 文字符号法

文字符号法是指在电容体表面上，用阿拉伯数字和字母符号有规律地组合来表示标称容量的方法，有时也用在电路图的标注上。

以下举例说明电容器标注的文字符号法。

例如：0.33pF 标成 P33；6800pF 标成 6n8；2.2 pF 标为 2P2；4700μF 标为 4m7；1000pF 标为 1n；0.01μF 标为 10n。

用三位数字来表示标称容量值的，前两位是标称容量的有效数字，第三位是乘数，表示乘以 10 的几次方，容量单位是 pF。如 0.22μF 标为 224；0.1μF 标为 104。

注：对于容量为 10pF 以下的电容允许偏差，用 B 标注，则表示其允许偏差为±0.1pF；用 C 标注，表示允许偏差是±0.2pF；用 D 标注，表示允许偏差是±0.5 pF；用 F 标注，表示允许偏差是±1pF。即

F =±1 %      G =±2 %      J =±5 %

K =±10 %      M =±20 %      N =±30 %

标为 224K 则表示容量为 0.22μF 允许偏差为 ±10 %；

标为 104J 则表示容量为 0.1μF 允许偏差为±5 %。

### (3) 色标法

电容器的色标法与电阻器色标法基本相似，其单位是皮法拉 (pF)。

电容器色环表示法有：立式色环、卧式色环。卧式色环用色点表示。另外某些电容器有一条宽色环，它代表两位相同的有效数字。色环及色点的读数基本单位为 pF 皮法。电容器耐压值也由色环表示，参见图 1-6。

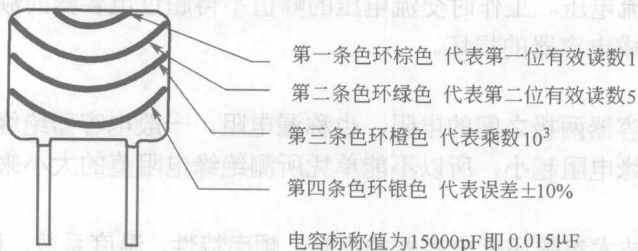


图 1-6 电容器的色标法图

## 1.2.4 电容器的测试及代换

### (1) 容量固定电容器漏电的判别

用万用表欧姆挡  $R \times 10k$  量程，将表笔与电容两极并接，表针先向顺时针方向跳动一下，然后逐步按逆时针复原。若表针不能退回到  $R = \infty$  处，则所指示的值就为电容器漏电的电阻值。此值越大越好，越大说明电容器绝缘性能越好，一般应为几百到几千兆欧。

注：容量小于 5000pF 以下的小电容在动圈式万用表上几乎观察不到表针的变化，应采用专门的测量仪判别。

### (2) 电解电容极性的判别

电解电容器可用下述方法判别其正、负极。

① 外观判别 例如 CD11 型电解电容器，可根据其引线的长短来加以区别，长引线为正极，短引线为负极。对于铝壳电解电容器 (CDX 型)，中心引出端为正极，与铝壳连通处为负极。

② 用万用表判别 电解电容器具有正向漏电电阻大于反向漏电电阻的特点。利用此特点可以判别电解电容器正、负极。具体方法是：将万用表拨至  $R \times 1k$  或  $R \times 10k$  挡，交换黑、红表棒测量电解电容器 2 次，观察其漏电电阻的大小，并以漏电电阻大的一次为准。黑表棒所接的就是电解电容器正极，红表棒所接的为负极。

测试时应注意，测试前应将电解电容器两引线先短接一下放电，以避免电容器储存的电能对万用表放电，而毁坏仪表。测量容量较大的电解电容时，在第 2 次测量时也应先短接两



引线进行放电,以便释放上次测量中累积的充电电荷。如仍有轻微的指针打表现象,属于正常现象,若2次测量得到的正、反向漏电阻相差无几,则说明电解电容器正向漏电严重,已不能使用。

### (3) 电容的代换

电容器损坏后,原则上应使用与其类型相同、主要参数相同、外形尺寸相近的电容器来更换。但若找不到同类型电容器,也可用其他类型的电容器代换。纸介电容器损坏后,可用与其主要参数相同但性能更优的有机薄膜电容器或低频瓷介电容器代换。玻璃釉电容器或云母电容器损坏后,可用与其主要参数相同的瓷介电容器代换。用于信号耦合、旁路的铝电解电容器损坏后,可用与其主要参数相同但性能更优的钽电解电容器代换。电源滤波电容器和退耦电容器损坏后,可以用较其容量略大、耐压值与其相同(或高于原电容器耐压值)的同类型电容器更换。

代换的基本原则是可以用耐压值较高的电容器代换容量相同,但耐压值低电容器。

## 1.3 电感器

电感器和电容器一样,也是一种储能元件,它能把电能转化为磁场能,并在磁场中储存能量。电感器用符号 $L$ 表示,它的基本单位是亨利(H),常用毫亨(mH)为单位。它经常和电容器一起工作,构成 $LC$ 滤波器、 $LC$ 振荡器等。另外,还利用电感的特性,制造了阻流圈、变压器、继电器等。

### 1.3.1 电感器的分类

电感线圈的种类很多,按电感的形式可分为固定电感和可变电感线圈;按导磁性质可分为空芯线圈和磁芯线圈;按工作性质可分为天线线圈、振荡线圈、低频扼流线圈和高频扼流线圈;按耦合方式可分为自感应和互感应线圈;按绕线结构可分为单层线圈、多层线圈和蜂房式线圈等。常用的电感线圈的外形及电路符号如图1-7所示。

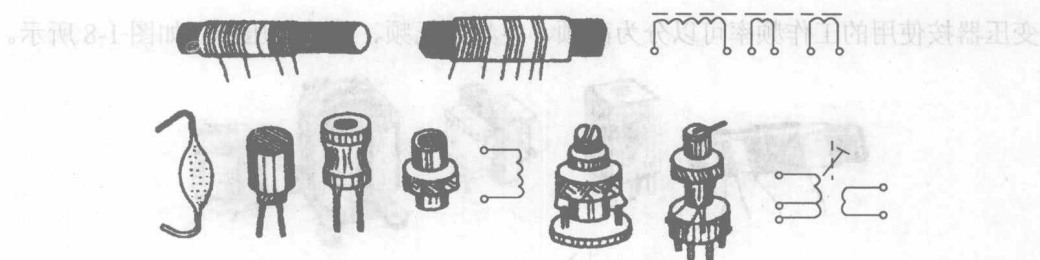


图 1-7 常用电感线圈的外形及电路符号图

### 1.3.2 电感器的主要参数

#### (1) 电感量

电感量也称作自感系数( $L$ ),是表示电感元件自感应能力的一种物理量。线圈电感量的大小与线圈直径、匝数、绕制方式及磁芯材料有关。

#### (2) 品质因数

品质因数也称作 $Q$ 值,是指线圈在一个周期中储存能量与消耗能量的比值,它是表示线圈品质的重要参数。它的大小取决于线圈电感量、等效损耗电阻、工作频率。 $Q$ 值越高,电感的损耗越小,效率就越高。

(3) 分布电容 线圈匝与匝之间、线圈与地之间、线圈与屏蔽盒之间以及线圈的层与层之间都存在着电容, 这些电容统称为线圈的分布电容。分布电容的存在会使线圈的等效总损耗电阻增大, 品质因数  $Q$  降低。为减少分布电容, 高频线圈常采用多股漆包或丝包线, 绕制线圈时常采用蜂房绕法或分段绕法等。

(4) 额定电流 额定电流是指允许长时间通过线圈的最大工作电流。

(5) 稳定性 电感线圈的稳定性主要指参数受温度、湿度和机械振动等影响的程度。

### 1.3.3 电感器的测试及代换

电感的性能检测一般采用外观检查结合万用表测试的方法。先检查外观, 看线圈有无断线或烧焦的情况, 若无此现象, 再用万用表检测。若测得线圈的电阻值远大于标称值或趋于无穷大, 说明电感器断路; 若测的线圈的电阻远小于标称阻值, 说明线圈内部有短路故障。

选用电感器时, 首先应考虑其性能参数 (例如电感量、额定电流、品质因数等) 及外形尺寸是否符合要求。小型固定电感器与色码电感器、色环电感器之间, 只要电感量、额定电流相同, 外形尺寸相近, 可以直接代换。

半导体收音机中的振荡线圈, 虽然型号不同, 但只要其电感量、品质因数及频率范围相同, 也可以相互代换。例如, 振荡线圈 LTF-1 可以与 LTF-3、LTF-4 之间直接代换。

电视机中的行振荡线圈, 应尽可能选用同型号、同规格的产品, 否则会影响其安装及电路的工作状态。

偏转线圈一般与显像管及行、场扫描电路配套使用。但只要其规格、性能参数相近, 即使型号不同, 也可相互代换。

## 1.4 变压器

变压器按使用的工作频率可以分为高频、中频、低频、脉冲变压器, 如图 1-8 所示。

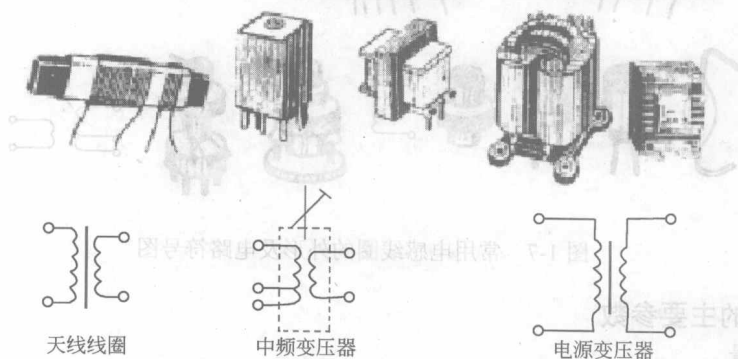


图 1-8 常用变压器外形结构及符号

变压器主要用于交流电压变换、电流变换、传递功率、阻抗变换和缓冲隔离等, 是电子整机中不可缺少的重要元件之一。高频变压器一般在收音机和电视中作为阻抗变换器, 如收音机的天线线圈等; 中频变压器常用于收音机和电视机的中频放大器中, 低频变压器的种类很多, 如电源变压器、音频变压器、耦合变压器等; 脉冲变压器则用于脉冲电路中。