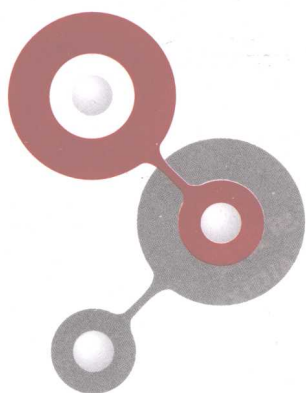




高等学校电子与电气工程及自动化专业“十一五”规划教材



# 电子装备设计技术

|     |    |
|-----|----|
| 高 平 | 主编 |
| 贾建援 | 主审 |



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

# 电子装备设计技术

高 平 主 编

贾建援 主 审

西安电子科技大学出版社

2009

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了电子装备设计方面的技术理论和实践内容,主要包括电子元器件的选用和检测,电磁兼容性设计技术,电子设备的接地、防雷与防静电技术,印制电路板设计技术,焊接技术,电子设备散热设计技术,电子设备组装设计技术,电子设备的调试、检验和例试,电子设计技术标准和文件等内容。

本书编写力求内容充实,通俗易懂,注重应用,突出新颖,具有知识面广、实践性强、先进性高、可读性好等特点。本书可作为高等学校电类、机电类专业相关课程的教材和工程培训用书,也可作为工程技术人员从事电子产品设计、研制、开发和生产的参考用书。

★本书配有电子教案,需要者可与出版社联系,免费提供。

## 图书在版编目(CIP)数据

电子装备设计技术/高平主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2009.8

高等学校电子与电气工程及其自动化专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2302-3

I. 电… II. 高… III. 电子设备—设计—高等学校—教材 IV. TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 113155 号

策 划 毛红兵

责任编辑 毛红兵 孟秋黎

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 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2009年8月第1版 2009年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 18.75

字 数 438千字

印 数 1~4000册

定 价 27.00元

ISBN 978-7-5606-2302-3/TN·0526

**XDUP 2594001-1**

\* \* \* 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。

# 高等学校

## 自动化、电气工程及其自动化、机械设计制造及自动化专业

### “十一五”规划教材编审专家委员会名单

主任：张永康

副主任：姜周曙 刘喜梅 柴光远

#### 自动化组

组长：刘喜梅（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 韦 力 | 王建中 | 巨永锋 | 孙 强 | 陈在平 | 李正明 |
| 吴 斌 | 杨马英 | 张九根 | 周玉国 | 党宏社 | 高 嵩 |
| 秦付军 | 席爱民 | 穆向阳 |     |     |     |

#### 电气工程组

组长：姜周曙（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 闫苏莉 | 李荣正 | 余健明 |
| 段晨东 | 郝润科 | 谭博学 |

#### 机械设计制造组

组长：柴光远（兼）

成员：（成员按姓氏笔画排列）

|     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 刘战锋 | 刘晓婷 | 朱建公 | 朱若燕 | 何法江 | 李鹏飞 |
| 麦云飞 | 汪传生 | 张功学 | 张永康 | 胡小平 | 赵玉刚 |
| 柴国钟 | 原思聪 | 黄惟公 | 赫东锋 | 谭继文 |     |

项目策划：马乐惠

策划：毛红兵 马武装 马晓娟

# 前 言

近年来,两年一届的全国大学生电子设计竞赛,对工科院校学生的创新意识、动手能力、实践技能和综合素质提出了更高的要求 and 更为严格的考验。竞赛要求学生在短短四天的时间内,根据给定的命题完成从原理图设计,元器件选购,印制电路板的设计制作、焊接、组装、调试,直至论文撰写这一整套设计程序,由此可以证明在校学生掌握电子装备设计技术的重要性。

然而,从目前工科院校学生的实际情况来看,经过电路原理和电子技术相关课程的学习后,虽然他们的理论知识和动手能力有了一定程度的提高,但很多学生对于整个电子装备设计的完整过程了解得还不够清楚,对各环节中涉及的典型技术掌握得还不够透彻,特别是对于理论课程中未涉及到的实际制作过程的处理,还不能很好地把握,学生的电子装备设计和工程能力需要进一步加强。

基于以上各方面的考虑,编者结合多年从事相关课程的教学和科研工作的经验,在参考其他同类书籍的基础上编写了本书。本书按照元器件的选用,印制电路板设计技术,焊接技术,整机的组装、调试、检验和例行试验这一主线展开,对电子装备的设计技术及其新器件、新技术和新设备进行了详尽的说明,系统地介绍了电子装备设计方面的技术理论和实践内容。本书突出工程实践内容,强调工程意识和观念,在各章列举了典型的设计技术和组装工艺,并介绍了具体的操作方法;部分内容配有图例和表格,使内容直观清晰;涉及到计算的部分列出了典型的例题,对题意进行了分析并给出了解题步骤。

建议在本书的使用过程中,结合工程实例和具体实践对象讲解相关的设计原则和技术方法,部分理论内容可让学生自学。

本书由江苏大学电气信息工程学院高平主编,并编写了第1~5章,秦云编写了第6~9章,全书由高平统稿,由西安电子科技大学机电学院贾建援院长主审。在本书的编写过程中,江苏大学电气学院的领导和相关老师给予了极大的支持,并提出了宝贵的建议,在此一并表示感谢!

鉴于编者水平有限,经验不足,书中难免存在疏漏之处,恳请广大老师和读者批评指正。

编 者  
2009年5月

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第 1 章 电子元器件的选用和检测 .....     | 1  |
| 1.1 电阻 .....                | 1  |
| 1.1.1 电阻的型号命名及标志方法 .....    | 1  |
| 1.1.2 电阻的主要技术指标 .....       | 6  |
| 1.1.3 电阻的结构、特点和应用 .....     | 8  |
| 1.1.4 电阻的判别、检测与选用 .....     | 10 |
| 1.1.5 电位器的分类和型号命名 .....     | 11 |
| 1.1.6 电位器的主要技术指标 .....      | 12 |
| 1.1.7 电位器的结构、特点和应用 .....    | 13 |
| 1.1.8 电位器的判别与选用 .....       | 14 |
| 1.2 电容 .....                | 15 |
| 1.2.1 电容的型号命名及标志方法 .....    | 15 |
| 1.2.2 电容的主要技术指标 .....       | 16 |
| 1.2.3 电容的结构、特点及应用 .....     | 18 |
| 1.2.4 电容的判别与选用 .....        | 19 |
| 1.3 电感 .....                | 21 |
| 1.3.1 电感的型号命名及标志方法 .....    | 21 |
| 1.3.2 电感的主要技术指标 .....       | 21 |
| 1.3.3 常用电感的特点及应用 .....      | 22 |
| 1.3.4 电感的检测与选用 .....        | 23 |
| 1.4 半导体器件 .....             | 24 |
| 1.4.1 半导体器件的命名 .....        | 24 |
| 1.4.2 半导体器件的检测和选用 .....     | 27 |
| 1.5 半导体集成电路 .....           | 33 |
| 1.5.1 集成电路的分类 .....         | 33 |
| 1.5.2 集成电路的型号命名 .....       | 34 |
| 1.5.3 集成电路的管脚识别 .....       | 35 |
| 1.5.4 集成电路的封装形式、特点及应用 ..... | 36 |
| 1.5.5 使用集成电路的注意事项 .....     | 36 |
| 1.6 表面安装元器件 .....           | 37 |
| 1.6.1 表面安装元器件的分类 .....      | 37 |
| 1.6.2 表面安装元件 .....          | 38 |
| 1.6.3 表面安装器件 .....          | 42 |
| 1.7 在系统可编程逻辑器件 .....        | 42 |
| 1.7.1 可编程逻辑器件的分类和特点 .....   | 43 |
| 1.7.2 典型的可编程逻辑器件 .....      | 45 |

|                                   |           |
|-----------------------------------|-----------|
| 1.7.3 在系统可编程数字逻辑器件 .....          | 47        |
| 1.7.4 在系统可编程模拟器件 .....            | 51        |
| 1.8 电子元器件的选用、检测与筛选 .....          | 53        |
| 1.8.1 电子元器件的选用 .....              | 53        |
| 1.8.2 电子元器件的检测与筛选 .....           | 56        |
| 习题 .....                          | 58        |
| <b>第2章 电磁兼容性设计技术</b> .....        | <b>59</b> |
| 2.1 电磁兼容性分析和设计 .....              | 59        |
| 2.1.1 电磁兼容性设计内容 .....             | 60        |
| 2.1.2 电磁兼容性设计方法 .....             | 62        |
| 2.1.3 电磁兼容性设计主要原则 .....           | 66        |
| 2.1.4 电磁兼容性设计措施 .....             | 67        |
| 2.2 电磁干扰源及其特性 .....               | 68        |
| 2.2.1 自然干扰源 .....                 | 69        |
| 2.2.2 人为干扰源 .....                 | 69        |
| 2.2.3 电磁干扰作用途径及分析方法 .....         | 72        |
| 2.3 电子设备电磁屏蔽设计 .....              | 74        |
| 2.3.1 概述 .....                    | 74        |
| 2.3.2 电场屏蔽 .....                  | 75        |
| 2.3.3 磁场屏蔽 .....                  | 78        |
| 2.3.4 电磁屏蔽 .....                  | 79        |
| 2.4 电磁兼容测量方法 .....                | 82        |
| 2.4.1 电磁兼容测量基本概念 .....            | 82        |
| 2.4.2 电磁兼容性测量目的及分类 .....          | 83        |
| 2.4.3 电磁兼容测量方法 .....              | 84        |
| 习题 .....                          | 87        |
| <b>第3章 电子设备的接地、防雷与防静电技术</b> ..... | <b>88</b> |
| 3.1 电子设备的接地技术 .....               | 88        |
| 3.1.1 接地系统的实现 .....               | 88        |
| 3.1.2 克服地线干扰的主要方法 .....           | 91        |
| 3.1.3 接地电位差干扰的抑制方法 .....          | 92        |
| 3.1.4 安全接地 .....                  | 93        |
| 3.1.5 接地系统设计 .....                | 94        |
| 3.1.6 搭接 .....                    | 95        |
| 3.2 电子设备的防雷技术 .....               | 96        |
| 3.2.1 雷电活动规律 .....                | 97        |
| 3.2.2 雷电破坏作用的机理 .....             | 98        |
| 3.2.3 雷电电磁脉冲及其防护 .....            | 100       |
| 3.3 电子设备的静电防护技术 .....             | 104       |
| 3.3.1 静电的产生 .....                 | 105       |
| 3.3.2 静电的危害 .....                 | 106       |
| 3.3.3 静电的测量 .....                 | 107       |
| 3.3.4 静电放电的防护 .....               | 108       |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| 习题 .....                     | 111        |
| <b>第 4 章 印制电路板设计技术 .....</b> | <b>112</b> |
| 4.1 印制电路板设计概要 .....          | 112        |
| 4.1.1 印制电路板设计要求 .....        | 112        |
| 4.1.2 印制电路基板的选用 .....        | 114        |
| 4.1.3 印制电路板的版面控制 .....       | 115        |
| 4.2 印制电路板设计 .....            | 116        |
| 4.2.1 设计综合考虑 .....           | 116        |
| 4.2.2 元器件布局和布线原则 .....       | 117        |
| 4.2.3 孔和焊盘的设计 .....          | 119        |
| 4.2.4 印制电路导线宽度及间距设计 .....    | 120        |
| 4.2.5 印制电路板版面设计 .....        | 124        |
| 4.2.6 印制电路板的互连 .....         | 125        |
| 4.3 印制电路板其他设计 .....          | 126        |
| 4.3.1 印制板散热设计 .....          | 126        |
| 4.3.2 印制电路板地线设计 .....        | 127        |
| 4.3.3 印制板的防干扰设计 .....        | 128        |
| 4.3.4 印制电路板的防冲振设计 .....      | 129        |
| 4.4 印制电路板制板工艺 .....          | 130        |
| 4.4.1 图纸绘制 .....             | 130        |
| 4.4.2 印制电路板制作工艺 .....        | 133        |
| 4.4.3 印制板的生产工艺 .....         | 135        |
| 4.4.4 印制电路板的检验 .....         | 136        |
| 4.5 印制电路板制作新技术 .....         | 137        |
| 4.5.1 印制电路板 CAD .....        | 137        |
| 4.5.2 印制电路板新发展 .....         | 139        |
| 4.5.3 印制电路板新产品 .....         | 140        |
| 4.5.4 印制板制造新方法 .....         | 140        |
| 4.5.5 印制板制造新设备 .....         | 141        |
| 习题 .....                     | 142        |
| <b>第 5 章 焊接技术 .....</b>      | <b>144</b> |
| 5.1 焊接要求与焊点质量标准 .....        | 144        |
| 5.1.1 焊接要求 .....             | 144        |
| 5.1.2 印制板焊接焊点质量标准 .....      | 145        |
| 5.1.3 焊接工艺要求 .....           | 147        |
| 5.1.4 焊接质量检验 .....           | 148        |
| 5.2 焊接准备 .....               | 149        |
| 5.2.1 印制电路板的可焊性检查及处理 .....   | 149        |
| 5.2.2 搪锡处理 .....             | 149        |
| 5.2.3 元器件引线的整型 .....         | 151        |
| 5.2.4 焊接工具设备及焊料选择 .....      | 152        |
| 5.2.5 创建良好的工作环境 .....        | 152        |
| 5.3 焊接机理 .....               | 152        |

|                             |                      |            |
|-----------------------------|----------------------|------------|
| 5.3.1                       | 焊点形成过程 .....         | 152        |
| 5.3.2                       | 焊点形成的必要条件 .....      | 154        |
| 5.4                         | 焊料与焊剂 .....          | 154        |
| 5.4.1                       | 电子设备焊接所用钎料 .....     | 154        |
| 5.4.2                       | 波峰焊和浸焊对焊料的技术要求 ..... | 157        |
| 5.4.3                       | 焊剂 .....             | 159        |
| 5.4.4                       | 阻焊剂 .....            | 164        |
| 5.5                         | 手工焊接技术 .....         | 165        |
| 5.5.1                       | 焊接工具 .....           | 165        |
| 5.5.2                       | 手工焊接技术 .....         | 167        |
| 5.5.3                       | 手工焊接要点 .....         | 170        |
| 5.6                         | 浸焊技术 .....           | 172        |
| 5.6.1                       | 浸焊设计要点 .....         | 172        |
| 5.6.2                       | 浸焊操作过程 .....         | 173        |
| 5.7                         | 波峰焊接技术 .....         | 174        |
| 5.7.1                       | 波峰焊的优势 .....         | 174        |
| 5.7.2                       | 波峰焊接设计要点 .....       | 174        |
| 5.7.3                       | 波峰焊接工艺流程 .....       | 176        |
| 5.7.4                       | 保证焊接质量的关键因素 .....    | 178        |
| 5.7.5                       | 波峰焊接注意事项 .....       | 179        |
| 5.8                         | 表面焊接技术 .....         | 179        |
| 5.8.1                       | 表面安装技术的性能特点 .....    | 180        |
| 5.8.2                       | 表面安装技术的优势 .....      | 180        |
| 5.8.3                       | 表面安装技术的关键因素 .....    | 181        |
| 5.8.4                       | 表面安装技术基础材料 .....     | 182        |
| 5.8.5                       | 表面安装印制板设计和制造要点 ..... | 184        |
| 5.8.6                       | 表面安装工艺流程 .....       | 185        |
| 5.9                         | 其他连接技术 .....         | 188        |
| 5.9.1                       | 压接技术 .....           | 188        |
| 5.9.2                       | 绕接技术 .....           | 190        |
| 5.9.3                       | 黏接技术 .....           | 192        |
| 5.9.4                       | 铆接技术 .....           | 194        |
| 5.10                        | 焊接新设备、新工艺 .....      | 195        |
| 5.10.1                      | 元件贴片机 .....          | 195        |
| 5.10.2                      | 电路板自动焊接设备 .....      | 196        |
| 5.10.3                      | 电路板清洗设备 .....        | 196        |
| 5.10.4                      | 电路板检验、维修设备 .....     | 197        |
| 5.10.5                      | 成型与剪切设备 .....        | 197        |
|                             | 习题 .....             | 197        |
| <b>第6章 电子设备散热设计技术 .....</b> |                      | <b>198</b> |
| 6.1                         | 散热原理 .....           | 198        |
| 6.1.1                       | 传导换热 .....           | 198        |
| 6.1.2                       | 对流换热 .....           | 201        |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 6.1.3 辐射换热 .....               | 202 |
| 6.2 电子元器件的散热 .....             | 204 |
| 6.2.1 温度对元器件的影响 .....          | 204 |
| 6.2.2 元器件的散热 .....             | 205 |
| 6.2.3 散热器的选用 .....             | 207 |
| 6.3 电子设备机内散热 .....             | 208 |
| 6.3.1 元器件布局散热 .....            | 208 |
| 6.3.2 电路板安装位置 .....            | 210 |
| 6.3.3 散热总体布局 .....             | 210 |
| 6.4 箱体的通风散热 .....              | 211 |
| 6.4.1 自然散热与强迫散热 .....          | 211 |
| 6.4.2 机箱的通风散热 .....            | 212 |
| 习题 .....                       | 213 |
| <b>第7章 电子设备组装设计技术</b> .....    | 214 |
| 7.1 元器件的布局 .....               | 214 |
| 7.1.1 元器件的布局原则 .....           | 214 |
| 7.1.2 布局方法和要求 .....            | 215 |
| 7.2 典型单元的组装与布局 .....           | 216 |
| 7.2.1 稳压电源的组装与布局 .....         | 216 |
| 7.2.2 放大器的组装与布局 .....          | 217 |
| 7.2.3 振荡回路的组装与布局 .....         | 218 |
| 7.2.4 高频系统的组装与布局 .....         | 219 |
| 7.3 布线与连线技术 .....              | 220 |
| 7.3.1 导线的选用 .....              | 220 |
| 7.3.2 布线应考虑的问题 .....           | 221 |
| 7.3.3 导线的布线原则 .....            | 223 |
| 7.4 预加工处理 .....                | 224 |
| 7.4.1 导线的加工 .....              | 224 |
| 7.4.2 导线和元器件浸锡 .....           | 225 |
| 7.4.3 元器件引线成型 .....            | 225 |
| 7.4.4 线把扎制及电缆加工 .....          | 226 |
| 7.5 电子设备的总体布局与组装 .....         | 229 |
| 7.5.1 电子设备组装的结构形式 .....        | 229 |
| 7.5.2 组装单元的划分 .....            | 229 |
| 7.5.3 总体布局原则 .....             | 230 |
| 7.5.4 整机组装工艺 .....             | 231 |
| 习题 .....                       | 232 |
| <b>第8章 电子设备的调试、检验和例试</b> ..... | 234 |
| 8.1 调试与检测 .....                | 234 |
| 8.1.1 调试工作的内容 .....            | 234 |
| 8.1.2 调试工艺文件的编制 .....          | 235 |
| 8.1.3 调试与检测技术 .....            | 235 |
| 8.1.4 调试与检测仪器 .....            | 236 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 8.1.5 调试工艺 .....             | 239 |
| 8.1.6 调试与检测安全 .....          | 242 |
| 8.1.7 调试技术 .....             | 244 |
| 8.1.8 样机调试 .....             | 245 |
| 8.1.9 产品调试 .....             | 247 |
| 8.1.10 故障检测方法 .....          | 249 |
| 8.2 检验 .....                 | 254 |
| 8.2.1 检验的基本方法 .....          | 254 |
| 8.2.2 验收检验 .....             | 255 |
| 8.2.3 定型检验和周期检验 .....        | 257 |
| 8.3 例行试验 .....               | 257 |
| 8.3.1 环境试验 .....             | 257 |
| 8.3.2 寿命试验 .....             | 259 |
| 8.3.3 例行试验过程 .....           | 260 |
| 习题 .....                     | 260 |
| <b>第9章 电子设计技术标准和文件</b> ..... | 261 |
| 9.1 电子产品的研制阶段 .....          | 261 |
| 9.2 生产过程中的质量控制 .....         | 262 |
| 9.2.1 电子产品质量 .....           | 262 |
| 9.2.2 生产过程中的质量管理 .....       | 263 |
| 9.3 电子产品的可靠性 .....           | 264 |
| 9.3.1 影响可靠性的因素 .....         | 265 |
| 9.3.2 可靠性指标 .....            | 265 |
| 9.3.3 整机产品的可靠性指标 .....       | 267 |
| 9.3.4 生产过程中的可靠性保证 .....      | 268 |
| 9.4 标准与标准化 .....             | 269 |
| 9.4.1 产品质量标准 .....           | 269 |
| 9.4.2 ISO 9000 系列质量标准 .....  | 270 |
| 9.5 电子产品设计文件 .....           | 275 |
| 9.5.1 设计文件的编制 .....          | 275 |
| 9.5.2 工艺文件 .....             | 278 |
| 9.5.3 电子工程图 .....            | 279 |
| 9.5.4 产品说明书 .....            | 284 |
| 9.5.5 产品鉴定文件 .....           | 285 |
| 习题 .....                     | 287 |
| <b>参考文献</b> .....            | 288 |

# 第1章 电子元器件的选用和检测

电子元器件是电子设备的基本组成单元，其种类繁多，新产品不断涌现，性能也在不断提高。熟练掌握各电子元器件的种类、结构、特点、性能、用途、常用规格，并正确、合理地选用元器件，对设计、安装和调试电子设备，保证电子设备的稳定性和可靠性起着十分重要的作用。

## 1.1 电 阻

电阻、电容和电感同属于电抗元件，是电子设备的三大基础元件，在电子设备中的应用十分广泛。电阻的主要作用是在电路中控制电压和电流，起到降压和限流的作用，由此还可派生出其他的功能电路，在这些电路中，电阻可起到分压、分流、反馈、隔离、取样、偏置等作用。

电阻可分为固定电阻和可变电阻两大类，固定电阻又包括普通电阻和特种电阻。

普通电阻按材料可分为线绕电阻、薄膜型电阻和合成电阻，其中薄膜型电阻包括碳膜电阻、金属膜电阻和氧化膜电阻等；按用途可分为通用型电阻、高阻型电阻、高频无感电阻、高压型电阻；按外形可分为圆柱形电阻、管形电阻、方形电阻、片装电阻、集成电阻等。

特种电阻包括敏感电阻和熔断电阻，其中敏感电阻包括热敏、光敏、压敏、湿敏、磁敏、气敏、力敏电阻等。

### 1.1.1 电阻的型号命名及标志方法

#### 1. 电抗元件的型号及命名

电子元器件的型号命名是由有关部门统一管理的，其命名方法是根据产品的主要特征或制成元件主体的材料给出恰当的符号或代码。

电阻、电容和电感的型号包括主称、材料、分类、序号四个部分，第一部分主称用字母表示；第二部分材料用字母表示；第三部分分类用数字表示，个别用字母表示；第四部分序号用数字表示。

电阻型号命名方法中各部分的符号和意义如表 1.1 所示。例如，RJ72 表示精密金属膜电阻器，其中 R 表示电阻，J 表示金属膜，7 表示精密型，2 为序号。

表 1.1 电阻型号命名中各部分的含义

| 主 称 |     | 材 料 |       | 类 型 |     | 序 号                  |
|-----|-----|-----|-------|-----|-----|----------------------|
| 符 号 | 意 义 | 符 号 | 意 义   | 符 号 | 意 义 | 数字表示                 |
| R   | 电 阻 | T   | 碳 膜   | 0   |     | 常用一位数字表示<br>生产序号或无数字 |
|     |     | H   | 合 成 膜 | 1   | 普通型 |                      |
|     |     |     |       | 2   | 普通型 |                      |
|     |     | S   | 有机实芯  | 3   | 超高频 |                      |
|     |     |     |       | 4   | 高 阻 |                      |
|     |     | N   | 无机实芯  | 5   | 高 阻 |                      |
|     |     |     |       | 6   |     |                      |
|     |     | J   | 金 属 膜 | 7   | 精密型 |                      |
|     |     | Y   | 氧 化 膜 | 8   | 高压型 |                      |
|     |     |     |       | 9   | 特殊型 |                      |
|     |     | C   | 沉 积 膜 | G   | 高功率 |                      |
|     |     | I   | 玻璃釉膜  | W   | 微 调 |                      |
|     |     |     |       | T   | 可 调 |                      |
|     |     | X   | 线 绕   | D   | 多 圈 |                      |

## 2. 电抗元件的标志方法

### 1) 直标法

直接标注法简称直标法,是指在阻容元件表面直接标出其主要参数与技术性能的标志方法,适用于体积较大的电抗元件。例如,某电阻上标志为RX20-100-510 $\Omega$ -1,表示该电阻为线绕电阻,型号为RX20,功率为100 W,阻值为510  $\Omega$ ,最后的1表示允许偏差为 $\pm 5\%$ ;某电阻上标志为RJ1W2.7k $\Omega$ 5%,RJ表示该电阻为金属膜电阻,功率为1 W,阻值为2.7 k $\Omega$ ,允许偏差为5%。

对于阻值或容量较小的阻容元件,在直标法中通常可用单位符号代替小数点,如电阻可用k或 $\Omega$ 表示小数点。例如,某电阻上标志为 $\Omega$ 33,表示该电阻阻值为0.33  $\Omega$ ;某电阻上标志为3k3,表示该电阻阻值为3.3 k $\Omega$ ;某电阻上标志为2M7,表示该电阻阻值为2.7 M $\Omega$ 。

在片状电阻器的标注中,通常用三位阿拉伯数字标注其标称阻值,其中前两位数字表示有效数值,第三位数字表示倍率,即乘以10的几次方。例如,221表示 $22 \times 10^1 \Omega = 220 \Omega$ ;472表示 $47 \times 10^2 \Omega = 4.7 \text{ k}\Omega$ 。

用直标法标注电容的容量时,通常将电容的标称容量及允许的误差值直接标注在电容上。如某电容标注为0.047 $\mu$ F63V,表示该电容容量为0.047  $\mu$ F,耐压为63 V。

电容的直标法中,有时电容器上不标注单位,此时确定容量的方法为:对于容量数值大于1的无极性电容器,其容量单位为pF;对于容量数值小于1的电容器,其容量单位为 $\mu$ F。如某电容器上标注的内容是4700,表示容量为4700 pF;某电容器上标注的内容是0.01,表示容量为0.01  $\mu$ F。

## 2) 数码法

数码法也称文字符号法,是将需要标出的主要参数与技术性能用文字、数字符号两者有规律地组合起来标志在阻容元件上的方法。

电阻的数码法标志中包含电阻的标称阻值、精度、功率和材料,通常用三位数字表示元件的标称值,前两位表示有效数值,第三位为倍乘( $10^n$ ,  $n$  为第三位数字,表示零的个数),阻值即为前两位数乘以  $10^n$ ,单位为  $\Omega$ 。当  $n=9$  时为特例,表示倍乘为  $10^{-1}$ 。

精密电阻的精度等级如表 1.2 所示。

表 1.2 精密电阻的精度等级

| 允许偏差%       | 标志符号 | 允许偏差%      | 标志符号 | 允许偏差%    | 标志符号 |
|-------------|------|------------|------|----------|------|
| $\pm 0.001$ | E    | $\pm 0.05$ | W    | $\pm 2$  | G    |
| $\pm 0.002$ | X    | $\pm 0.1$  | B    | $\pm 5$  | J    |
| $\pm 0.005$ | Y    | $\pm 0.2$  | C    | $\pm 10$ | K    |
| $\pm 0.01$  | H    | $\pm 0.5$  | D    | $\pm 20$ | M    |
| $\pm 0.02$  | U    | $\pm 1$    | F    | $\pm 30$ | N    |

电容的数码表示法通常用三位数字表示电容的容量大小,其中前两位表示电容标称容量的有效数值(十位和个位),第三位表示倍乘即有效数值后零的个数,电容的单位为 pF。同样,当第三位数字为 9 时为特殊情况,表示倍乘为  $10^{-1}$ 。

若某电容上标志为 474K1kV,表示该电容的容量为  $47 \times 10^4 \text{ pF} = 0.47 \mu\text{F}$ ,允许偏差 K 为  $\pm 10\%$ ,耐压为 1 kV;若某电容标志为 479,则表示该电容为  $47 \times 10^{-1} \text{ pF} = 4.7 \text{ pF}$ ;若电容上标志为 335J100V,则表示该电容的容量为  $33 \times 10^5 \text{ pF} = 3.3 \mu\text{F}$ ,J 表示允许偏差为  $\pm 5\%$ ,100 V 为耐压。

注意数码法和直标法的区别:通常直标法的第三位数字为 0,而数码法中的第三位数字不为 0。

电抗元件的不同规格用不同的倍率符号表示,倍率符号用标准字母代表,如表 1.3 所示。

表 1.3 电抗元件常用倍率符号

| 倍 率        | 符 号           | 含 义 | 电 阻        | 电 容           | 电 感           |
|------------|---------------|-----|------------|---------------|---------------|
| $10^{-12}$ | p(pico)       | 皮   |            | p F           |               |
| $10^{-9}$  | n(nano)       | 纳   |            | n F           | n H           |
| $10^{-6}$  | $\mu$ (micro) | 微   |            | $\mu\text{F}$ | $\mu\text{H}$ |
| $10^{-3}$  | m(milli)      | 毫   | m $\Omega$ | m F           | m H           |
| $10^3$     | k(kilo)       | 千   | k $\Omega$ |               |               |
| $10^6$     | M(mega)       | 兆   | M $\Omega$ |               |               |
| $10^9$     | G(giga)       | 吉   | G $\Omega$ |               |               |
| $10^{12}$  | T(tera)       | 太   | T $\Omega$ |               |               |

## 3) 色标法

色标法是指将元件的各种参数值用不同颜色的色环(有时用色点)直接标志在产品上的标志方法,多用于小功率电阻,特别是 0.5 W 以下的碳膜电阻和金属膜电阻。色标法包括

三色标法(三色环)、四色标法(四色环)和五色标法(五色环)等。不同颜色的色环代表了不同的数值、倍乘和误差。各种颜色所表示的数值、倍乘和误差以及电解电容的工作电压如表 1.4 所示。

表 1.4 色标电阻法基本色码的含义

| 颜 色 | 有效数值 | 倍 乘       | 允许偏差      |      | 电解电容工作<br>电压/V |
|-----|------|-----------|-----------|------|----------------|
|     |      |           | 数值 / %    | 直标符号 |                |
| 银   | —    | $10^{-2}$ | $\pm 10$  | K    | —              |
| 金   | —    | $10^{-1}$ | $\pm 5$   | J    | —              |
| 黑   | 0    | $10^0$    | —         | —    | 4              |
| 棕   | 1    | $10^1$    | $\pm 1$   | F    | 6.3            |
| 红   | 2    | $10^2$    | $\pm 2$   | G    | 10             |
| 橙   | 3    | $10^3$    | —         | —    | 16             |
| 黄   | 4    | $10^4$    | —         | —    | 25             |
| 绿   | 5    | $10^5$    | $\pm 0.5$ | D    | 32             |
| 蓝   | 6    | $10^6$    | $\pm 0.2$ | C    | 40             |
| 紫   | 7    | $10^7$    | $\pm 0.1$ | B    | 50             |
| 灰   | 8    | $10^8$    | —         | —    | 63             |
| 白   | 9    | $10^9$    | +5、-20    | —    | —              |
| 无色  | —    | —         | $\pm 20$  | —    | —              |

注：工作电压的颜色标志只适用于电解电容器，色点应标在正极。

在三色环表示法中，三条色环都表示标称电阻值，前两环表示数值，第一环为十位，第二环为个位，第三环表示倍乘，即乘以  $10^n$ ，精度均为  $\pm 20\%$ 。

在四色环表示法中，前三环表示电阻的标称值，其中前两环为数值，第一色环为十位，第二色环为个位，第三色环为倍乘，第四色环表示电阻的精度(即允许偏差的范围)。若某电阻的四色环的颜色分别为棕、灰、棕、金，则表示该电阻阻值为  $18 \times 10^1 \Omega = 180 \Omega$ ，金色表示允许偏差为  $\pm 5\%$ 。

在五色环表示法中，前四条色环表示电阻的标称值，其中前三环为数值，第一色环为数值的百位，第二色环为十位，第三色环为个位，第四色环为倍乘，第五色环表示电阻的精度(即阻值允许偏差的范围)，为避免混淆，第五色环的宽度通常是其他色环宽度的 1.5~2 倍或间隔稍大。例如，某电阻的五色环的颜色分别为黄、紫、黑、红、棕，表示该电阻阻值为  $470 \times 10^2 \Omega = 47 \text{ k}\Omega$ ，允许偏差为  $\pm 1\%$ 。

四色环和五色环表示法的含义如图 1.1 所示。

电容器的色标法包括色点和色环两种标志方法，颜色涂于电容器的一端(卧式)或从顶端向引脚方向(立式)排列，容量的单位为 pF。

对于立式电容器，其两根引脚线方向同向，色环电容器的识别顺序是沿引脚自上而下。若三色环的颜色分别为黄、紫、红，则其容量为  $47 \times 10^2 \text{ pF} = 4700 \text{ pF}$ ；若四色环的颜色分别为棕、绿、橙、银，则前三色环表示其容量为  $15 \times 10^3 \text{ pF} = 0.015 \mu\text{F}$ ，第四色环表示允许偏差为  $\pm 10\%$ ；若某电容器上标志的四色点的颜色分别为蓝、灰、红、银，则前三色点表示其容量为  $68 \times 10^2 \text{ pF} = 6800 \text{ pF}$ ，第四色点表示允许偏差为  $\pm 10\%$ 。

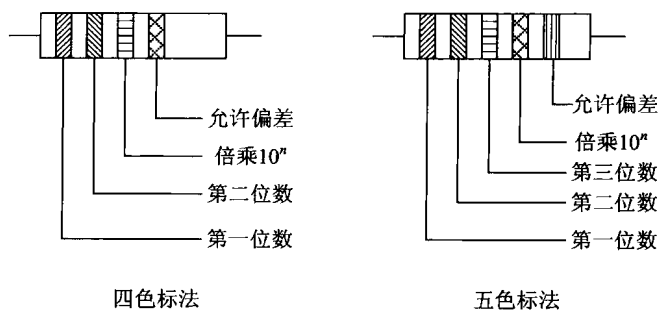


图 1.1 电阻色环表示法含义

对于卧式电容器，其色环标志与色环电阻器类似。若五色环电容器的五个色环的颜色分别为棕、黑、橙、银、金，则其容量为  $0.01\ \mu\text{F}$ ，允许偏差为  $\pm 10\%$ ，工作电压为  $63\ \text{V}$ 。

3. 电抗元件的优先标称系列

电阻、电容等电抗元件的产品规格是按特定数列提供的，并不是任意阻值(或容量)的电阻(或电容)都能购买到。目前我国广泛采用的是 E 系列和 R 系列，电阻的阻值和电容的容量主要采用 E 系列，电容的电压、产品的外形尺寸主要采用 R 系列。

E 系列包括 E6、E12、E24、E48、E96、E192 等。对应不同的系列，元件的允许偏差值也不同，数值分布越疏，偏差越大，E6、E12、E24 对应的偏差分别为  $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$  和  $\pm 5\%$ 。常用电阻的标称系列及标称阻值系列如表 1.5 所示，对于较小或较大阻值的电阻，将表中的数值乘以  $10^n$  来确定阻值，其中  $n$  为正整数或负整数。

表 1.5 常用电阻元件的优先标称系列

| 数 系                                  | E6         | E12        | E24       | 数 系                                  | E6         | E12        | E24       |
|--------------------------------------|------------|------------|-----------|--------------------------------------|------------|------------|-----------|
| 偏 差                                  | $\pm 20\%$ | $\pm 10\%$ | $\pm 5\%$ | 偏 差                                  | $\pm 20\%$ | $\pm 10\%$ | $\pm 5\%$ |
| 电<br>阻<br>值<br>的<br>标<br>称<br>阻<br>值 | 1.0        | 1.0        | 1.0       | 电<br>阻<br>值<br>的<br>标<br>称<br>阻<br>值 | 3.3        | 3.3        | 3.3       |
|                                      | —          | —          | 1.1       |                                      | —          | —          | 3.6       |
|                                      | —          | 1.2        | 1.2       |                                      | —          | 3.9        | 3.9       |
|                                      | —          | —          | 1.3       |                                      | —          | —          | 4.3       |
|                                      | 1.5        | 1.5        | 1.5       |                                      | 4.7        | 4.7        | 4.7       |
|                                      | —          | —          | 1.6       |                                      | —          | —          | 5.1       |
|                                      | —          | 1.8        | 1.8       |                                      | —          | 5.6        | 5.6       |
|                                      | —          | —          | 2.0       |                                      | —          | —          | 6.2       |
|                                      | 2.2        | 2.2        | 2.2       |                                      | 6.8        | 6.8        | 6.8       |
|                                      | —          | —          | 2.4       |                                      | —          | —          | 7.5       |
|                                      | —          | 2.7        | 2.7       |                                      | —          | 8.2        | 8.2       |
|                                      | —          | —          | 3.0       |                                      | —          | —          | 9.1       |

对于精密电阻的标称阻值和精密电容的标称容量，在 E24 系列不能满足时，可用 E48（偏差为  $\pm 2\%$ ）、E96（偏差为  $\pm 1\%$ ）、E192 系列（偏差为  $\pm 0.5\%$ ）。由于这些产品的制造、

筛选及测试成本较高,使用数量较少,其市场价格也较高。

### 1.1.2 电阻的主要技术指标

电阻的主要技术指标包括额定功率、标称阻值和精度、温度系数、非线性、噪声和极限电压等参数。

#### 1. 额定功率

电阻在电路中长时间连续工作不损坏,或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率,称为电阻的额定功率,它并不是电阻在工作中一定要消耗的功率,而是在电路工作中电阻允许消耗功率的上限额。

不同的电阻有不同的额定功率,多至数十种规格。选择电阻时,应使其额定值高于电路使用中所承受的实际值的1.5~2倍以上。

实际电路图中电阻的功率大小可用相关的符号来标志,如图1.2所示。

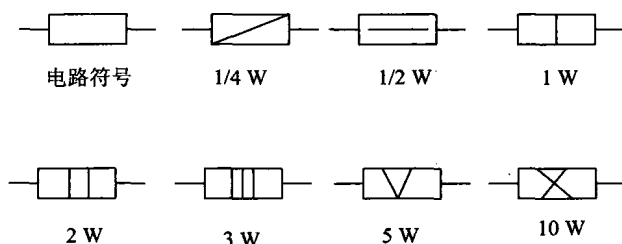


图 1.2 电路图中电阻功率的标志

实际使用的电阻通常因为体积较小,并没有标出功率参数,使用中可根据电阻的尺寸大小估计其功率大小。常用电阻的外形尺寸与功率的对应关系如表1.6所示。

表 1.6 常用电阻的功率与外形尺寸的对应关系

| 电阻系列    | 型 号  | 额定功率/W | 外形尺寸/mm |      |
|---------|------|--------|---------|------|
|         |      |        | 最大直径    | 最大长度 |
| 超小型碳膜电阻 | RT13 | 0.125  | 1.8     | 4.1  |
| 小型碳膜电阻  | RTX  | 0.125  | 2.5     | 6.4  |
| 碳膜电阻    | RT   | 0.25   | 5.5     | 18.5 |
|         | RT   | 0.5    | 5.5     | 28.0 |
|         | RT   | 1      | 7.2     | 30.5 |
|         | RT   | 2      | 9.5     | 48.5 |
| 金属膜电阻   | RJ   | 0.125  | 2.2     | 7.0  |
|         | RJ   | 0.25   | 2.8     | 8.0  |
|         | RJ   | 0.5    | 4.2     | 10.8 |
|         | RJ   | 1      | 6.6     | 13.0 |
|         | RJ   | 2      | 8.6     | 18.5 |