



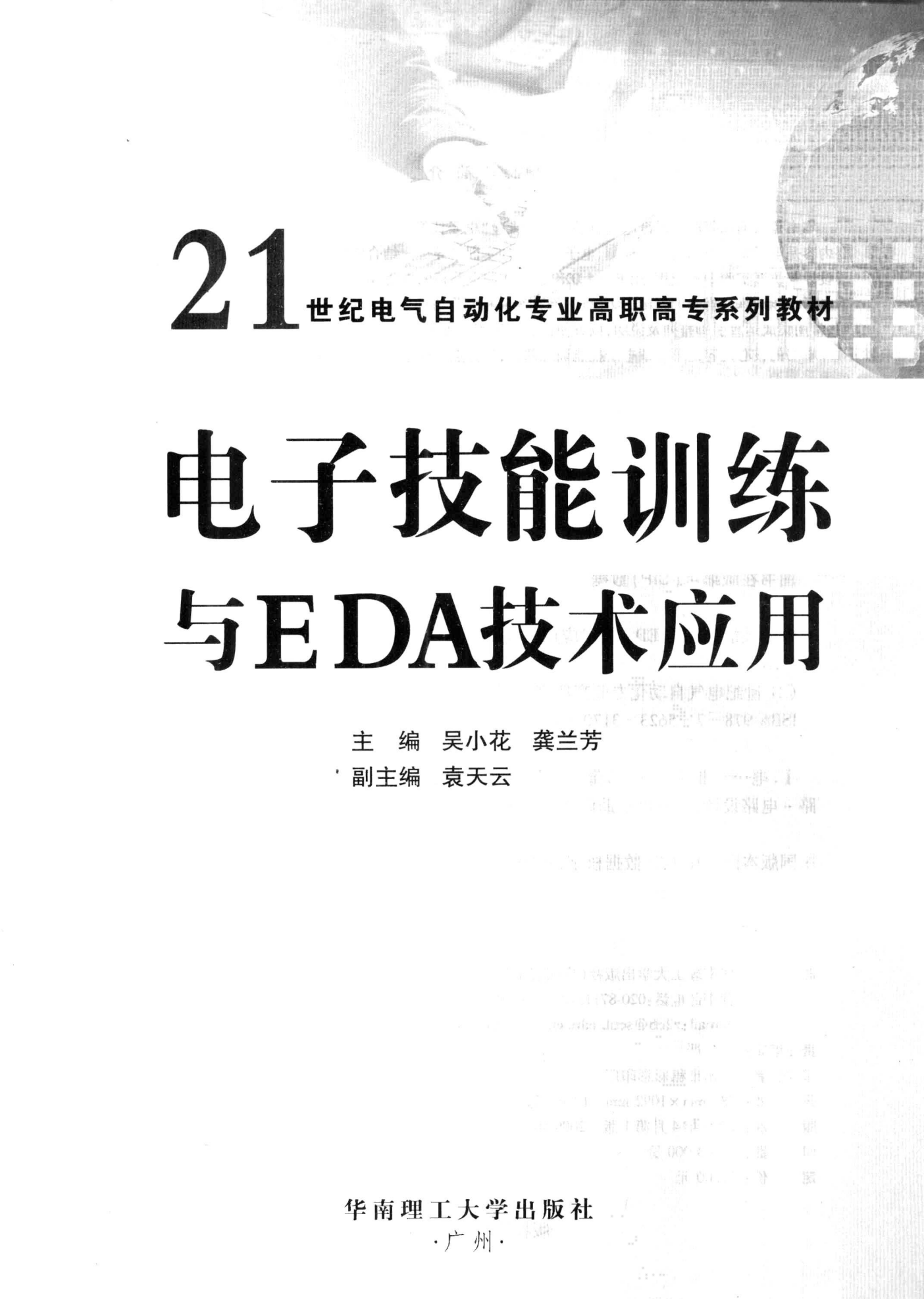
21

世纪电气自动化专业高职高专系列教材

电子技能训练 与EDA技术应用

吴小花 龚兰芳 主编

华南理工大学出版社



21 世纪电气自动化专业高职高专系列教材

电子技能训练 与EDA技术应用

主 编 吴小花 龚兰芳

· 副主编 袁天云

华南理工大学出版社
· 广州 ·

内 容 简 介

本书是依据高等职业教育电气自动化技术专业“电子技能实训与 EDA 技术应用”教学大纲编写的,主要内容是电子元器件的选用与检测、电子课程设计实训指导等。结合实例详细地介绍了 Proteus ISIS 在电子设计与仿真实验中的应用、用 Protel DXP 设计印制电路板的方法、电子产品的组装调试与焊接技术等基本电子技能训练。附录中列出了 ZY2518 系列线路板制作机的使用说明、常用 TTL 集成电路引脚排列及说明、常用集成运放引脚排列及说明,以方便读者在使用时查阅参考。

本书的核心内容是第 4 章电子技能训练部分,其特点是通过对实际电路的设计与调试,培养工程实践能力。

本书内容有较高的实用性,适于作为高职高专电气自动化、应用电子、机电一体化、电子信息类专业实训教材,也可供广大电气、电子爱好者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技能训练与 EDA 技术应用/吴小花,龚兰芳主编. —广州:华南理工大学出版社, 2009.4

(21 世纪电气自动化专业高职高专系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5623 - 3170 - 4

I. 电… II. ①吴…②龚… III. ①电子技术 - 高等学校:技术学校 - 教材②电子电路 - 电路设计:计算机辅助设计 - 高等学校:技术学校 - 教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 058398 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼,邮编 510640)

营销部电话:020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail: z2cb@scut.edu.cn http://www.scutpress.com.cn

责任编辑: 庄 严

印 刷 者: 广州市穗彩彩印厂

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 14.5 字数: 353 千

版 次: 2009 年 4 月第 1 版 2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 3 000 册

定 价: 26.00 元

版权所有 盗版必究

前 言

本书是参照高等职业学校电子工程类专业“电子技能与实训”教学大纲和高职高专电气自动化技术专业电子课程教学要求编写的,注重培养学生的实践能力,着眼于电子技术的基本技能的训练。

随着电子技术的迅速发展和社会的进步,电气自动化产品已日益广泛地应用于各个领域,大力普及现代电子技术知识,培养现代化产业需要的、高素质的电子工程专业人才是一项非常紧迫的任务。但对电子技术理论知识的学习普遍感到抽象难懂,必须借助电子实验的手段,通过实验操作,将理论知识与实践相结合,才能真正实现理论到技能的转化。传统的电子设计实验除确定题目、查找资料、确定方案、设计电路外,还要购买元器件、制板、安装、调试、测试等。如果设计达不到要求,必须重复设计、制板、安装、调试、测试的过程,往往要重复购买元器件,费时、费力又浪费材料和资金。因此,提高电子实验效率,节约教学成本,培养有知识、有技能的实用型人才,必须找寻更加先进的方法。

Proteus 是嵌入式系统仿真软件,是目前世界上比较先进的电子设计仿真平台,它可以对各种处理器进行实时仿真、调试与测试,实现数字电路、模拟电路及微控制电路与外部设备混合电路系统的电路仿真、软件仿真、系统协同仿真和 PCB 设计。Proteus 软件完全解决了上述各项问题,它既可以提高电子理论知识的学习、电子电路设计的效率,又可以简化电子实验的工序,提高实验的安全性,节约成本,省时、省力、不浪费,还可以开阔视野,有利于培养创新型人才。

本书具有如下几个主要特点:

- (1) 内容突出应用性、技能性和趣味性。
- (2) 互动教学,有利于实现边教边学边练的目的。
- (3) 习题多为技能训练操作型、解决问题型。

全书内容包括:电子元器件的检测与使用、电子电路设计方法与步骤、Proteus 7 仿真软件的应用、Protel DXP 设计制作印制电路板的方法以及电路焊接组装、调试等基本电子技能训练。

本书适用于电子工程、自动化及相关专业。整体方案按 70 学时设计,实际教学过程中可根据专业特点适当调整。

本书由广东水利电力职业技术学院吴小花编写第 1、2 章和第 4 章;袁天云编写第 3 章以及附录;龚兰芳编写第 5 章。

由于编者的水平所限,本书尚有许多待改进之处,恳切希望各位老师、学生批评指正。

编 者

2009 年 1 月

目 录

第1章 电子元器件的选用与检测	(1)
1.1 阻抗元件的认识与测试	(1)
1.1.1 电阻器和电位器	(1)
1.1.2 电容器	(8)
1.1.3 电感器和变压器	(13)
1.2 半导体分立器件的检测	(15)
1.2.1 常用半导体分立器件及其分类	(15)
1.2.2 国产半导体分立器件的型号命名	(16)
1.2.3 半导体分立器件的封装及管脚	(17)
1.3 半导体集成电路识别与测试	(21)
1.3.1 集成电路的型号命名法	(21)
1.3.2 集成电路的分类	(24)
1.3.3 集成电路外引脚的识别	(24)
1.3.4 集成电路的检测方法	(25)
1.4 开关与接插件	(25)
1.4.1 开关	(25)
1.4.2 接插件	(28)
第2章 电子系统设计实训	(33)
2.1 电子系统概述	(33)
2.1.1 电子系统定义	(33)
2.1.2 电子系统组成	(33)
2.1.3 电子系统设计的基本原则	(35)
2.1.4 电子系统设计的一般方法和步骤	(35)
2.1.5 撰写课程设计报告	(43)
2.2 电子课程设计	(44)
2.2.1 直流稳压电源的设计与制作	(44)
2.2.2 交通信号灯控制系统的设计与调试	(47)
2.2.3 简易公用电话计时器	(53)
2.3 课程设计实训题目选编	(57)
2.3.1 音乐门铃的设计与制作	(57)
2.3.2 计数、译码、显示电路设计与制作	(58)
2.3.3 电话防盗打器的电路设计	(59)

2.3.4	智力竞赛抢答器电路设计	(60)
2.3.5	遥控电风扇调速器	(62)
2.3.6	家用调光台灯	(64)
2.3.7	触摸式灯光控制器设计	(65)
2.3.8	电子密码锁电路的设计	(65)
第3章	电子元器件的安装与焊接技术	(67)
3.1	元器件的安装	(67)
3.1.1	元器件安装的基本知识与插装原则	(67)
3.1.2	元器件的安装次序	(70)
3.1.3	元器件的安装方法	(70)
3.2	元器件的焊接	(74)
3.2.1	焊接工具	(74)
3.2.2	焊料、焊剂	(77)
3.2.3	手工焊接技术	(78)
3.2.4	焊点的质量及检查	(82)
3.2.5	印制电路板的焊接	(84)
3.2.6	导线的焊接	(84)
3.2.7	几种易损元器件的焊接	(84)
3.2.8	元器件的拆焊	(85)
3.3	表面贴装技术(SMT)简介	(87)
3.3.1	SMT 的特点	(87)
3.3.2	表面贴装技术的安装方式	(87)
3.3.3	表面贴装技术使用的基础材料	(88)
3.3.4	表面贴装焊接工艺	(88)
3.3.5	焊接特点	(89)
3.3.6	手工贴焊	(89)
第4章	Proteus ISIS 仿真软件的应用	(91)
4.1	概述	(91)
4.2	Proteus 7 ISIS 编辑环境简介	(91)
4.2.1	Proteus 7 ISIS 的启动	(91)
4.2.2	Proteus ISIS 编辑环境	(93)
4.2.3	ISIS 菜单栏	(97)
4.2.4	ISIS 主工具栏	(102)
4.2.5	ISIS 元器件选择工具栏	(104)
4.2.6	ISIS 方向工具栏	(106)
4.2.7	仿真工具栏	(106)

4.2.8	原理图编辑窗口控制	(106)
4.2.9	预览窗口	(107)
4.2.10	元件列表	(108)
4.3	绘制电路原理图的操作	(108)
4.3.1	元器件选取工具的操作	(109)
4.3.2	结点工具的操作	(111)
4.3.3	连线标号模式工具的操作	(112)
4.3.4	文字脚本模式工具的操作	(114)
4.3.5	总线绘制工具的操作	(114)
4.3.6	子电路绘制工具的操作	(116)
4.3.7	终端选取工具的操作	(116)
4.3.8	器件引脚模式工具的操作	(117)
4.3.9	二维图形绘制工具的操作	(117)
4.3.10	二维图形符号选取工具的操作	(120)
4.3.11	标注工具(Marker)的操作	(121)
4.4	导线操作	(121)
4.5	块操作	(122)
4.6	绘制原理图举例	(123)
4.7	激励源模式的使用	(127)
4.7.1	直流激励源	(128)
4.7.2	正弦波激励源	(129)
4.7.3	模拟脉冲信号发生器	(131)
4.7.4	数字时钟信号发生器	(133)
4.8	虚拟仪器的使用	(134)
4.8.1	放置虚拟仪器的操作方法	(134)
4.8.2	虚拟信号发生器	(135)
4.8.3	虚拟示波器	(136)
4.8.4	电压表和电流表	(138)
4.8.5	定时/计数器	(139)
4.9	探针	(142)
4.9.1	电压探针	(142)
4.9.2	电流探针	(143)
4.10	图表模式工具的使用	(143)
4.11	电子电路仿真实践	(145)
4.11.1	单管放大电路测试的仿真实践	(145)
4.11.2	振荡电路仿真实践	(147)
4.11.3	直流电源电路仿真实践	(148)
4.11.4	门电路功能测试的仿真实践	(150)

4.11.5	触发器逻辑功能测试	(154)
4.11.6	交通灯定时控制系统的仿真实践	(155)
4.11.7	555 定时器的功能测试及其应用仿真实践	(155)
4.11.8	D/A 转换器与 A/D 转换器的仿真实践	(159)
4.12	Proteus ARES 图标介绍	(161)
第 5 章	印制电路板的设计	(164)
5.1	印制电路板	(164)
5.2	PCB 的种类	(166)
5.2.1	单面板	(166)
5.2.2	双面板	(166)
5.3	元器件的封装形式	(167)
5.4	Protel DXP 基础	(168)
5.4.1	Protel DXP 的设计浏览器	(168)
5.4.2	Protel DXP 的文件管理	(168)
5.4.3	创建新的设计文件	(169)
5.5	原理图文件的绘制	(173)
5.5.1	加载元件库和放置元器件	(173)
5.5.2	元器件的自动编号	(175)
5.6	电路板元器件布局	(178)
5.6.1	电路板的设计流程	(178)
5.6.2	载入元器件封装及网络表	(179)
5.6.3	元器件布局	(188)
5.7	PCB 电路板布线	(190)
5.7.1	布线设计规则	(191)
5.7.2	手动调整布线	(194)
5.8	电路板敷铜	(195)
5.8.1	设置与敷铜相关的设计规则	(195)
5.8.2	地线敷铜	(197)
5.8.3	单面板的设计	(198)
5.9	DRC 校验	(199)
附录 A	线路板制作机使用说明	(204)
附录 B	常用 TTL 集成电路引脚排列及说明	(213)
附录 C	常用集成运放引脚排列及说明	(218)
参考文献		(224)

第 1 章 电子元器件的选用与检测

1.1 阻抗元件的认识与测试

1.1.1 电阻器和电位器

1.1.1.1 电阻器的作用和分类

电阻器是电路元件中使用最广泛的一种，在电子设备中占元件总数的 30% 以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有极大的影响。电阻器的主要用途是稳定和调节电路中的电流和电压，其次还可作为分流器、分压器和消耗电能的负载等。

(1) 电阻器的分类

电阻器按结构可分为固定式和可变式两大类。

电阻器按照其制作材料的不同可分为 3 类：薄膜类电阻器（金属膜电阻器、金属氧化膜电阻器、碳膜电阻器等）、合成类电阻器（实心式电阻器、金属玻璃釉电阻器、合成膜电阻器）和特殊电阻（熔断电阻、有机实心电阻器、水泥电阻、敏感型电阻等）。

按制造工艺或材料，电阻器可分为以下 3 类：

- 1) 合金型。用块状电阻合金拉制成合金线或碾压成合金箔制成的电阻。
- 2) 薄膜型。在玻璃或陶瓷基体上沉积一层电阻薄膜，膜的厚度一般在几微米以下，薄膜材料有碳膜、化学沉积膜、金属膜及金属氧化膜。
- 3) 合成型。电阻由导电颗粒和化学黏结剂混合而成，可以制成薄膜或实心两种类型。常见的有合成膜电阻和实心电阻。

按照使用范围及用途，电阻器可以分类如下：

- 1) 普通型。指能适应一般技术要求的电阻，额定功率范围为 $0.05 \sim 2 \text{ W}$ ，阻值为 $1 \Omega \sim 22 \text{ M}\Omega$ ，允许偏差 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等。
- 2) 精密型。指有较高精密度及稳定性的电阻，功率一般不大于 2 W ，标称阻值 $0.01 \Omega \sim 20 \text{ M}\Omega$ ，允许偏差在 $\pm 2\% \sim \pm 0.001\%$ 之间分挡。
- 3) 高频型。电阻自身电感量极小，用于高频电路，阻值小于 $1 \text{ k}\Omega$ ，功率最大可达 100 W 。
- 4) 高压型。用于高压装置中，功率在 $0.5 \sim 15 \text{ W}$ 之间，额定电压可达 35 kV 以上，标称阻值可达 $1 \text{ G}\Omega$ 。
- 5) 高阻型。阻值在 $10 \text{ M}\Omega$ 以上，最高可达 $10^{14} \Omega$ 。

(2) 特殊电阻元件简介

1) 熔断电阻。又称保险电阻器，是一种具有电阻和保险丝双重功能的元件。主要应用在电源和二次电源的输出电路中。熔断电阻的额定功率由电阻尺寸大小决定。在正常情况下使用时，它具有普通电阻器的电气特性；一旦电路发生故障，流过的电流过大时，保险丝电阻就会在预定的时间内熔断，从而起到保护其他重要元件的作用，达到提高整机安全性的目的。

2) 水泥电阻。这是一种陶瓷绝缘功率型线绕电阻。按功率可分为 2 W、3 W、5 W、7 W、8 W、10 W、15 W、20 W、30 W 和 40 W 等规格。水泥电阻具有功率大、散热好、阻值稳定和绝缘性能强的特点，它在电路过流的情况下会迅速熔断，以保护电路，但其价格相对较高。

3) 敏感型电阻。是指对温度、电压、光通量、气体通量、磁通量和机械力等外界因素表现敏感的电阻器。这类电阻器既可以作为把非电量变为电信号的传感器，也可以完成电路的某种功能，它在工业的自动化、智能化和日常生活中被广泛应用。常见的敏感型电阻器有热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器、湿敏电阻器等。

4) 有机实心电阻。是把颗粒状导电物、填充料和黏合剂等材料混合均匀后热压在一起，然后装在塑料壳内组成的电阻器。它的引线直接压缩在电阻体内。由于这种电阻器导体截面较大，因此具有很强的过负载能力，且可靠性高、价格低，其主要缺点是精度低。这种电阻器一般用在负载不能断开且工作负荷较大的地方，如音频输出接耳机的电路以及彩色电视机输出接显像管阴极间串联的电阻，都使用实心电阻。

5) 集成电阻。也叫排电阻，在数字显示电路、计算机硬件电路中常用，其外形及内部结构如图 1-1 所示。

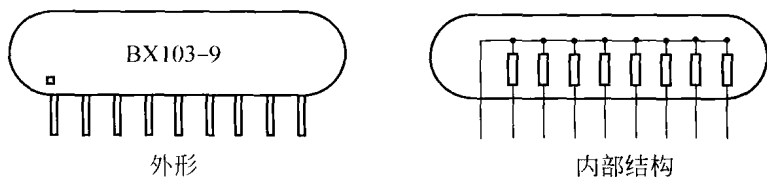


图 1-1 集成电阻的外形和内部结构图

图中 BX 表示产品型号；10 表示有效数字；3 表示有效数字后边加“0”的个数，103 即 10 000 Ω ；半字线“-”后面的 9 表示此电阻有 9 个引脚，其中的一个引脚是公共引脚用色点标志。

集成电阻适合多个电阻器阻值相同而且其中的一个引脚都连接在电路的同一位置的场合。集成电阻比分立电阻器体积小，安装方便，但价格稍贵。

(3) 电位器

电位器的作用是用来分压、分流和用来作为变阻器。

电位器是一种连续可调的电阻器，其滑动臂（动触点）的接触刷在电阻体上滑动，可获得与电位器外加输入电压和可动臂转角成一定关系的输出电压。也就是说，通过调节电位器的转轴，使它的输出电位发生改变，所以称为电位器。电位器的引脚都在 3 个以上。

电位器的结构和符号如图1-2所示。

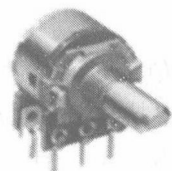
(4) 电阻的单位及换算

1) 电阻的单位：电阻基本单位为欧姆 (Ω)，常用的单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$) 等。

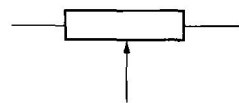
2) 电阻单位的换算：

$$1 M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

$$1 \Omega = 10^{-3} k\Omega = 10^{-6} M\Omega$$



(a) 实物外型结构



(b) 电路符号

图1-2 电位器电路符号与实物

1.1.1.2 电阻器的型号命名

根据国家标准，电阻器型号命名由四部分组成。第一部分：用字母表示主称，如R表示电阻，W表示电位器；第二部分：用字母表示材料；第三部分：分类，一般用数字表示，个别类型用字母表示；第四部分：用数字表示序号，用于区分同类产品中的外形尺寸和性能指标等。详见表1-1。

表1-1 电阻器型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分
用字母表示主称		用字母表示材料		用数字或字母表示分类		用数字表示序号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	
W	电位器	H	合成膜	2	普通	
		S	有机实心	3	超高频	
		N	无机实心	4	高阻	
		J	金属膜	5	高温	
		Y	金属氧化膜	6	—	
		C	化学沉积膜	7	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	
		X	线绕	9	特殊	
		T	可调	G	高功率	
				X	小型	
				L	测量用	
				W	微调	
				D	多调	

说明：新产品的分类根据发展状况予以补充。

1.1.1.3 电阻器的主要技术参数

电阻器的主要技术参数有标称阻值、允许偏差（精度等级）、温度系数、额定功率、频率特性及噪声系数等。电阻器的主要技术参数通常用文字或文字符号标出。

（1）额定功率：电阻器的额定功率是指，在规定的环境温度和湿度下，在长期连续工作而不损坏或基本不改变其性能的情况下，电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时，电阻器的阻值将发生变化，甚至发热烧毁。为保证安全，一般选其额定功率比它在电路中实际消耗的功率高 1.5 ~ 2 倍以上。

（2）标称阻值和阻值精度（允许偏差）：标称阻值是产品标志的“名义”阻值，其单位是欧（ Ω ）、千欧（ $k\Omega$ ）、兆欧（ $M\Omega$ ）等。

为了便于生产和管理，国家制定了普通电阻器的标称值系列，即市场上出售的电阻器阻值有统一的标准数值。若在市场上买不到所需要阻值的电阻器，可在标称值的范围内依据误差最小的原则选择相应的标称电阻值。

允许偏差是指电阻器的实际阻值与标称阻值的相对误差。它表示产品的精度。允许偏差简称允差，允差越小，精度等级越高。普通电阻的允许偏差可分为 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等；精密电阻的允许偏差可分为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、…… $\pm 0.001\%$ 等十多个等级。一般说来，精度等级高的电阻，价格也高。在电子产品设计中，应根据电路的不同要求，选用不同精度的电阻。电阻的精度等级可以用符号标明，如表 1-2 所示。

表 1-2 电阻的精度等级符号

允差/%	± 0.001	± 0.002	± 0.005	± 0.01	± 0.02	± 0.05	± 0.1
精度等级符号	E	X	Y	H	U	W	B
允差/%	± 0.2	± 0.5	± 1	± 2	± 5	± 10	± 20
精度等级符号	C	D	F	G	J	K	M

1.1.1.4 电阻器常用的标注方法

电阻器常用的标注方法有直标法、文字符号法和色标法 3 种。

（1）直标法

直标法是把元件的主要参数直接印制在元件的表面上，这种方法主要用于功率比较大的电阻器。例如，电阻器表面上印有 $RXYC-50-T-1k5-10\%$ ，其含义是耐潮披釉线绕可调电阻，额定功率为 50W，阻值为 $1.5k\Omega$ ，允许误差为 $\pm 10\%$ 。

（2）文字符号法

传统的电阻器文字符号标注法，是将电阻器的阻值、精度、功率、材料等用文字符号在电阻器上表示出来。表示电阻单位的文字符号见表 1-3，精度用等级 J（ $\pm 50\%$ ）、等级 K（ $\pm 10\%$ ）、等级 M（ $\pm 20\%$ ）表示；电阻器的材料可通过外表的颜色予以区别。

表 1-3 文字符号

文字符号	所表示单位	文字符号	所表示单位
J	欧姆 (Ω)	G	吉欧姆 ($10^9\Omega$)
K	千欧姆 ($10^3\Omega$)	T	太欧姆 ($10^{12}\Omega$)
M	兆欧姆 ($10^6\Omega$)		

随着电子元器件的不断小型化，特别是表面安装元器件（SMC 和 SMD）的制造工艺不断进步，使得电阻器的体积越来越小，因此对元器件表面上标注的文字符号也进行了相应的改革，一般仅用 3 位数字标注电阻器的数值，精度等级不再表示出来（一般小于 $\pm 5\%$ ）。具体规定如下：

- ①元器件表面涂以黑颜色表示电阻器。
- ②电阻器的基本标注单位是欧（ Ω ），其数值大小用 3 位数字标注。
- ③对于 10 个基本标注单位以上的电阻器，前 2 位数字表示数值的有效数字，第 3 位数字表示数值的倍率（乘数）。例如，10 表示阻值为 $10 \times 1\Omega = 10\Omega$ ，223 表示其阻值为 $22 \times 10^3\Omega = 22\text{ k}\Omega$ 。
- ④对于 10 个基本标注单位以下的元件，第一位、第三位表示数值的有效数字，第二位用字母“R”表示小数点。例如 3R9 表示 3.9Ω 。

(3) 色标法

色标法是用不同颜色的色环（称为色码）表示电阻主要参数的标志方法。这种方法在小型电阻上用得比较多。色标法有四环标示法和五环标示法两种，如图 1-3 所示。

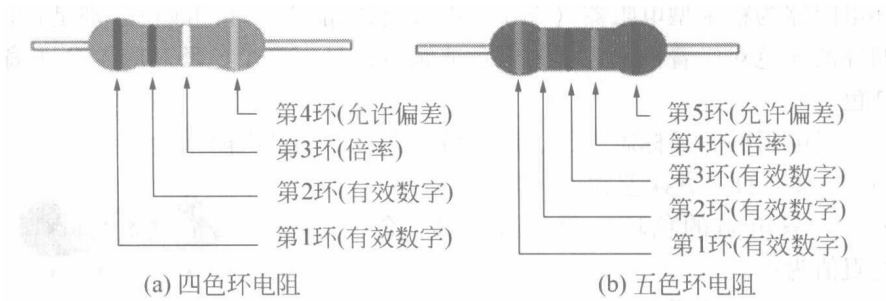


图 1-3 电阻的色环法

用色环表示电阻值是目前最普遍的一种表示方法。如图 1-3 所示，最后一道色环（第 4 环或第 5 环）表示电阻器的允许偏差。这道色环与前一道色环的间隔较大，以此判别哪一道色环为最后的一道。该色环为无色表示允许偏差为 $\pm 20\%$ ，银色表示允许偏差为 $\pm 10\%$ ，金色表示允许偏差为 $\pm 5\%$ 。

四环电阻为普通型电阻（图 1-3a），它的最前两个色环的颜色对应两位（十位和个位）数字，即黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白按顺序分别对应着数字 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。第 3 个色环对应着倍率，其颜色对应于 10 的指数 a ，同样用上列颜色对应着数字 0~9，再加上金色对应 -1、银色对应 -2。所表示的电阻值单位为欧

(Ω)。四色环各道环的颜色与数值的对应关系见表 1-4。

表 1-4 色环颜色与数值的对应关系

数 值 颜 色	位 置	①	②	$\times 10^{(3)}$	④误差级别%
棕		1	1	10^1	
红		2	2	10^2	
橙		3	3	10^3	
黄		4	4	10^4	
绿		5	5	10^5	
蓝		6	6	10^6	
紫		7	7	10^7	
灰		8	8	10^8	
白		9	9	10^9	
黑		/	0	10^0	
金		/		10^{-1}	± 5
银		/		10^{-2}	± 10
无色		/		/	± 20

五色环电阻器为精密型电阻器(图 1-3b)，它的前 3 个环的颜色分别是百位、十位、个位；第四环的颜色对应着倍率，常为金色或银色；最后一个色环对应着允许偏差值，常用棕色或红色。

例如，一只电阻的色环标志为红、红、橙、无色，则其电阻值为：

$$22 \times 10^3 \Omega = 22 \text{ k}\Omega \text{ (其误差为 } \pm 20\%)$$

又例如，一只电阻的色环标志为棕、黑、金、金，则其电阻值为：

$$10 \times 10^{-1} \Omega = 1 \Omega \text{ (其误差为 } \pm 5\%)$$

可见，以色码所表示的电阻的阻值是：①② $\times 10^{(3)}\Omega$ (①、②、③分别代表上图所示的色环所代表的具体数字)。

如图 1-4 所示电阻器的色环颜色依次是红、红、黑、红、棕，则其标称阻值为：

$$220 \times 10^2 = 22\text{k}\Omega \text{ (偏差为 } \pm 1\%)$$

上述色环颜色与数值的对应关系可简化色码与电阻值的级别对应关系，如表 1-5 所示，对四色环电阻，在读数时，只要将电阻器的第一、二道色环的值读出，再分辨出第三道色环对应的电阻值级别和单位，就可以比较快地识别色环电阻。表 1-5 为色环颜色与电

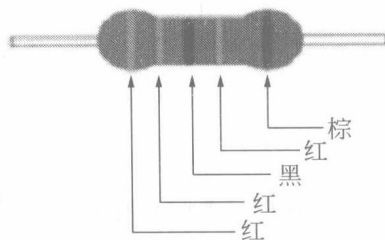


图 1-4 色环电阻

阻值级别的关系。

表 1-5 色环颜色与电阻值级别的关系

色码	金	黑	棕	红	橙	黄	绿
电阻值级别	Ω 级	10 Ω 级	100 Ω 级	k Ω 级	10k Ω 级	100k Ω 级	M Ω 级

说明： Ω 级读数不能超过 10 Ω ，10 Ω 级读数不能超过 100 Ω （即小于 100 Ω ）……例如一只电阻器的色环为红、红、金、无色，则可确定它为 Ω 级，再看一、二色环，读数为 22，则它的电阻值为 2.2 Ω （误差为 $\pm 20\%$ ）。读者可以自行在实践中体会上述说明的含义。

1.1.1.5 电阻器的正确选用与质量判别

（1）电阻器的正确选用

在选用电阻器时，不仅要求其各项参数符合电路的使用条件，还要考虑外形尺寸和价格等方面的因素。

1) 根据电子设备的技术指标和电路的具体要求选用电阻的型号和允许偏差级别。

2) 为提高设备的可靠性，延长使用寿命，应选用额定功率大于实际消耗功率 1.5 ~ 2 倍的电阻。

3) 电阻装接前应进行测量、核对，尤其是在精密电子仪器设备装配时，还需经人工老化处理，以提高稳定性。

4) 在装配电子仪器时，若使用非色环电阻，则应将电阻标称值标志朝上，且标志顺序一致，以便于观察。

5) 焊接电阻时，烙铁停留时间不宜过长。

6) 选用电阻时应根据电路中信号频率的高低来选择。一个电阻可等效成一个 R 、 L 、 C 二端线性网络，如图 1-5 所示。不同类型的电阻， R 、 L 、 C 三个参数的大小有很大差异。线绕电阻本身是电感线圈，所以不能用于高频电路中。薄膜电阻中，若电阻体上刻有螺旋槽（如 RY 型），其工作频率则更高。

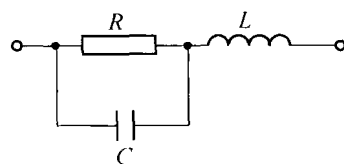


图 1-5 电阻器的等效电路

7) 电路中如需串联或并联电阻来获得所需阻值时，应考虑其额定功率。阻值相同的电阻串联或并联，额定功率等于各个电阻额定功率之和。阻值不同的电阻串联时，额定功率取决于高阻值电阻；并联时，额定功率取决于低阻值电阻，且需计算方可应用。

在研制电子产品时，要仔细分析电路的具体要求。在那些稳定性、耐热性、可靠性要求比较高的电路中，应该选用金属膜或金属氧化膜电阻；如果要求功率大、耐热性能好而工作频率又不高时，则可选用线绕电阻；对于无特殊要求的一般电阻，可使用炭膜电阻，以便降低成本。测量电阻的方法很多，可用欧姆表、电阻电桥和数字欧姆表来直接测量，也可根据欧姆定律 $R = U/I$ ，通过测量流过电阻的电流 I 及电阻上的压降 U 来间接测量电阻值。

当测量精度要求较高时，采用电阻电桥来测量电阻。电阻电桥有单臂电桥（惠斯登

电桥)和双臂电桥(凯尔文电桥)两种。

当测量精度要求不高时,可直接用欧姆表测量电阻。现以 MF-20 型万用表为例,介绍测量电阻的方法。

首先将万用表的功能选择开关置 Ω 挡,量程波段开关置合适挡。将两根测试笔短接,表头指针应在刻度线零点,若不在零点,则要调节“ Ω ”旋钮(零欧姆调整电位器)回零。调回零后即可把被测电阻串接于两根测试笔之间,此时表头指针偏转,待稳定后可从刻度线上直接读出所示数值,再乘上事先所选择的量程,即可得到被测电阻的阻值。当另换一量程时必须再次短接两测试笔,重新调零。每换一量程挡,都必须调零一次。

特别要指出的是,在测量电阻时,不能用双手同时捏住电阻或测试笔,因为那样的话,人体电阻将会与被测电阻并联在一起,表头上的数值就不单纯是被测电阻的阻值了。

(2) 电阻器的检测方法

电阻器的检测,主要是利用万用表的欧姆挡来测量电阻的阻值,将测量值与标准值对比,从而判断电阻是否能够正常工作,是否断路、短路及老化。检测方法主要有以下几种:

1) 固定电阻的检测

① 外观检查。先看电阻器表面有无破损、脱皮、烧焦,引线有无折断现象,从外表判断电阻有无断路情况。

② 再用万用表电阻挡,选择欧姆挡合适量程(对于指针式万用表,为了使读数比较准确,应使表针偏转于 $1/3 \sim 2/3$ 满量程)进行测量。若所测阻值超过该电阻的误差范围、阻值为零、阻值为 ∞ 或阻值不稳定,就说明该电阻已损坏。

③ 根据“电阻器质量越好,其噪声电压越小”的现象,使用“电阻噪声测量仪”测量电阻噪声,判断电阻质量的好坏。

2) 可变电阻的检测方法

可变电阻的主要故障表现为接触不良而致元件与电路时断时续;磨损严重;元件断路。

① 用万用表测量可变电阻两个固定引脚的电阻值是否正常。当测量值远大于或远小于标准值时,则表明元件已损坏。

② 缓慢调节电位器或可变电阻的滑动端,测量元件定片与动片之间的阻值,观察其电阻值的变化情况。正常时,电阻值应从零变到标称值;若电阻值变化连续平稳,没有出现表针摆动,表明元件正常;若远大于标称值或无穷大,则表明元件内部断路;若在旋转(滑动)动片的过程中阻值有跳变或抖动现象,说明滑动点与电阻体接触不良。

③ 敏感电阻的检测方法。

当敏感源发生变化时,用万用表欧姆挡检测敏感电阻的阻值,若阻值也明显变化,表明敏感电阻性能良好;若变化很小或几乎不变,则表明敏感电阻出现故障。

1.1.2 电容器

电容器是一种储能元件。在电路中用于调谐、滤波、耦合、旁路、能量转换和延时等。

电容器储存电荷的能力叫做电容量。电容量的基本单位是 F (法拉), 常用单位是 μF (微法)、nF (纳法) 和 pF (皮法)。其换算公式如下:

$$1\text{F} = 10^6\mu\text{F} = 10^{12}\text{pF}$$

电容器通常都在其两个电极分别引出两个引脚, 以便焊接。电容器的外形如图 1-6a 所示, 其电路符号如图 1-6b 所示。

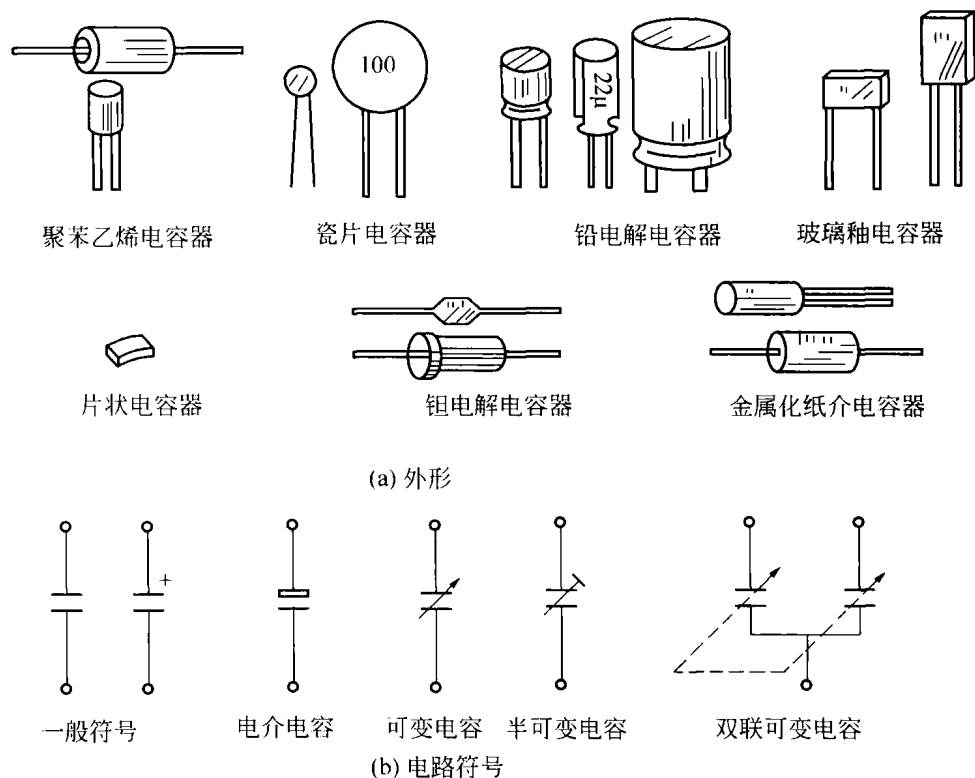


图 1-6 电容器的外形和电路符号

1.1.2.1 电容器型号命名法

国产电容器的型号一般由以下四部分组成, 如图 1-7 所示:

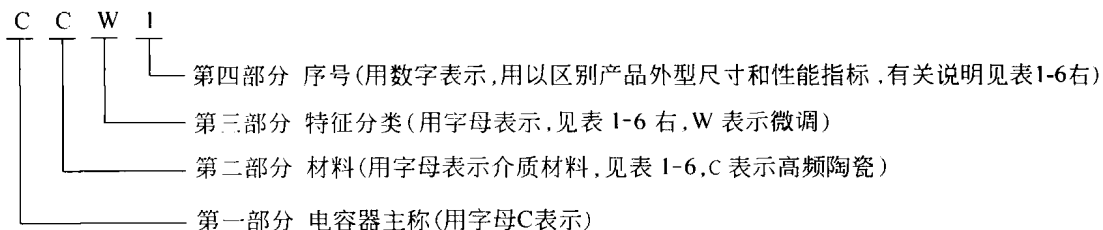


图 1-7 电容器型号命名