

# DANPIANJIYU YINGYONG DIANZI SHEJI JINGSAI SHIXUN

佟国香 郝润科◎主编

# 单片机应用与 电子设计竞赛实训



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

# DANPIANJI YINGYONG DIANZI SHEJI

JINGSAI SHIXUN

佟国香 郝润科◎主编

# 单片机应用与 电子设计竞赛实训



经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

**图书在版编目 (CIP) 数据**

单片机应用与电子设计竞赛实训/佟国香, 郝润科主编. —北京: 经济管理出版社, 2011. 2

ISBN 978 - 7 - 5096 - 1282 - 8

I. ①单… II. ①佟…②郝… III. ①电子电路—电路设计 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 014342 号

出版发行: **经济管理出版社**

北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 11 层

电话: (010) 51915602 邮编: 100038

印刷: 北京交通印务实业公司

经销: 新华书店

组稿编辑: 杜 菲

责任编辑: 杜 菲 刘 波

责任印制: 黄 铄

责任校对: 郭 佳

787mm × 1092mm/16

15.25 印张 352 千字

2011 年 3 月第 1 版

2011 年 3 月第 1 次印刷

定价: 30.00 元

书号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 1282 - 8

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部

负责调换。联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974

邮编: 100836

经济管理出版社  
TEL: (010) 68022974 FAX: (010) 68022974

# 前 言

本书是面向电子设计大赛中单片机应用的实践教材。以瑞萨电子有限公司的 78K0 系列单片机为实例，从基础应用到电子设计制作，深入浅出地介绍了以单片机为核心的嵌入式系统开发中的软硬件构成及特点，并用具体案例介绍以 MCU 为核心的应用产品的软硬件设计、开发、分析及调试。

实践环节分为两个部分：软件模拟和具体产品的制作。通过方案总体认证、系统设计、硬件开发、软件开发、软硬件联机调试等步骤训练学生动手能力及整体设计的能力，具备电子产品应用设计的基本能力，从而为电子设计大赛打下良好的设计基础。本教材也可以作为电子设计爱好者的初学实践参考教材。书中给出了大量的单片机应用实践实例，详细介绍了硬件设计原理和软件程序设计流程，并给出了使用瑞萨电子有限公司的仿真软件 SM + for 78K0 系列进行模拟仿真的全部操作流程，为用户的设计开发提供参考。

针对单片机的应用开发，瑞萨电子有限公司提供了一套完整有效的开发环境。对于 78K0 系列包括 Applilet、RA78K0、CC78K0、SM + for 78K0、ID78K0 - QB for MINICUBE、ID78K0 - QB for MINICUBE2 等一系列软件开发及软硬件调试工具。Applilet 提供了良好的用户界面，只需要按照需求设置好相关硬件便可以生成硬件驱动程序（包括初始化程序、硬件启动控制、停止控制、相关参数设置等模块化程序），除了可以生成所有硬件资源的初始化程序外，该软件也为选项字节的设置以及中断的管理生成相关的代码，用户只需在 main 函数中加入自己的程序代码便可以方便快捷地进行程序的编译调试。另外一个值得称赞的开发工具是系统仿真器 SM +，用户可以在无需连接外部硬件开发板的情况下，使用 SM + 进行系统级的硬件仿真，观察程序执行结果。它可以仿真 NEC 的多种 MCU，给用户提供一个集仿真、调试、性能分析于一体的功能强大的软件平台，并提供可视化的仿真结果。用户可以像操作目标板上的硬件一样在 SM + 提供的可视化面板中进行模拟操作，观察输出设备的状态。如按钮、键盘、旋钮、发光管、7 段码 LED、蜂鸣器、电机运转等外设均可以在 I/O 面板中加载进行模拟仿真，此外，使用波形观察窗口还可以观察 PWM 信号以及方波信号等脉冲信号的输出情况，利用串行口调试窗口可以观察 UART、三线串口和 I<sup>2</sup>C 等串行通讯的数据时序波形。瑞萨电子为用户提供了一个良好的前期开发工具环境，能够有效地提高开发效率和降低成本。同时也为高校师生提供了一个不使用实验开发装置也可以进行软硬件调试的实验环境。本书的设计项目部分提供了大量的设计实例及使用 SM + for 78K0 进行软硬件仿真的示例供用户参考。

针对电子设计，书中第 1 章首先介绍了电子设计过程中常用的电子器件的特性、识



别方法及应用选型等相关知识，为电子设计奠定基础。第2章介绍了单片机的应用基础，使初学者对单片机的应用有一个感性的、总体的认识。第3章介绍基于78K0F547D的实验开发环境，该实验平台是之后章节中所有应用实例的硬件平台，集成了电子设计中的大部分功能模块，如矩阵键盘、使用A/D功能设计的钢琴键、发光二极管阵列、7段码LED、点阵式LCD、代表音量或者速度的旋钮、步进电机、直流电机、电机速度检查模块、喇叭、电流表、红外接收、UART接口等。第4章介绍了设计中用到的所有瑞萨电子有限公司的开发环境。第5章给出了大量的软硬件设计实例，这些实例可以采用SM+ for 78K0软件模拟器进行仿真，书中给出了每个实例的仿真方法和结果，也可以基于78K0F547D实验开发平台利用MINICUBE，进行硬件仿真调试，所有实例的硬件设计和软件开发都是基于该78K0F547D实验开发平台进行设计开发的。除书中列出的实验项目以外，教学光盘中将提供所有基于78K0F547D实验开发平台相关应用模块的程序示例。第6章针对电子设计大赛，提供了一个开放式的产品制作实例，是初学者进入实验室实际制作产品的参考。从硬件原理图设计、PCB设计、制版到元件的选择、焊接等完成电子产品的硬件制作；编写软件实现产品的功能，通过调试、修改最终设计出一款电子产品。该实例采用的单片机是78K0/KB2 (uPD78F0500) 8位闪存单片机，根据电路原理图，按部就班地把各种器件焊接到目标PCB板上后，通过RS232接口与PC连接，使用编程软件将程序写入单片机内置的闪存存储器，便可以进行各种控制了。

在编写本书的过程中以及实验开发平台的制作过程中得到了瑞萨电子有限公司营业中心副总监王伟谷先生、市场部副经理宋斌先生和市场部副经理刘建群先生的关心和支持。上海理工大学光电信息与计算机工程学院的汪婧昭和刘渊参与了书中每个设计实例的调试和模拟仿真工作。书中部分内容引用了瑞萨电子有限公司的数据手册和网站上的相关内容，在此表示感谢。

书中不足之处，恳请读者给予批评指正。

作者

2010年12月



# 目 录

<b>第 1 章 基础部分</b>	1
1.1 电阻	1
1.1.1 电阻器参数的识别	1
1.1.2 电阻器的种类	4
1.1.3 电阻器的检测	5
1.2 电容	7
1.2.1 电容参数的识别	7
1.2.2 电容的种类	8
1.2.3 电容的检测	9
1.3 电感	10
1.3.1 电感参数的识别	10
1.3.2 常用电感的种类	11
1.3.3 电感的检测	12
1.4 二极管	12
1.4.1 二极管参数的识别	12
1.4.2 二极管的种类	13
1.4.3 二极管的检测	14
1.5 三极管	15
1.5.1 三极管的参数识别	16
1.5.2 三极管的种类	16
1.5.3 三极管的检测	17
1.6 逻辑电路	17
1.6.1 基本逻辑电路	18
1.6.2 存储电路	22
1.6.3 寄存器	23
1.6.4 计数器	24
1.6.5 锁存器	24



<b>第 2 章 单片机基础</b> .....	26
2.1 单片机的寄存器 .....	26
2.2 单片机的存储装置 .....	27
2.3 单片机的指令 .....	28
2.4 单片机的端口 .....	28
2.4.1 控制 I/O 端口的功能寄存器 .....	29
2.4.2 端口的输入控制 .....	30
2.4.3 端口的输出控制 .....	30
2.5 单片机的定时器 .....	31
2.5.1 定时器的类型 .....	31
2.5.2 8 位定时器/事件计数器 50 .....	32
2.6 单片机内部的 A/D 转换器 .....	34
2.6.1 A/D 转换器的操作 .....	35
2.6.2 A/D 转换器的应用 .....	36
2.6.3 使用开发工具进行系统开发 .....	41
2.7 单片机内部的串行接口 .....	48
2.7.1 异步串行通讯接口 .....	49
2.7.2 3 线串行通讯接口 .....	53
2.8 中断 .....	54
2.9 选项字节 .....	59
<b>第 3 章 实验环境</b> .....	61
3.1 教学板硬件概述 .....	61
3.1.1 教学板及配件 .....	61
3.1.2 NEC AF/SP-1 编程器的连接 .....	62
3.1.3 NEC NTC MINICUBE 78K0 的连接 .....	62
3.1.4 教学板配置图 .....	63
3.2 系统结构框图 .....	64
3.3 存储器映射图 .....	65
3.3.1 存储器组 .....	65
3.3.2 存储器映射 .....	65
3.4 I/O 映射 .....	66



第 4 章 系统开发环境介绍 .....	68
4.1 开发环境概述 .....	68
4.1.1 软件包 .....	69
4.1.2 语言处理软件 .....	70
4.1.3 Flash 存储器写入工具 .....	70
4.1.4 调试工具 (硬件) .....	71
4.1.5 调试工具 (软件) .....	71
4.2 可以自动生成代码的系统配置功能——Applilet .....	71
4.2.1 Applilet 的简述 .....	71
4.2.2 Applilet 的操作 .....	71
4.2.3 加载到 PM Plus .....	77
4.3 PM Plus 的操作 .....	78
4.4 QB-78KOMINI 仿真器的使用 .....	82
4.4.1 界面介绍 .....	82
4.4.2 使用 QB-78KOMINI 仿真器 .....	83
4.4.3 在 ID78K0-QB for MINICUBE 中调试 .....	85
4.4.4 高级调试功能 .....	94
4.5 系统仿真器 SM+for 78K0/Kx2 的使用 .....	98
4.5.1 加载 SM+for 78K0/Kx2 .....	98
4.5.2 运行程序 .....	99
4.5.3 使用系统仿真器 SM+for 78K0/Kx2 进行调试 .....	100
第 5 章 实验项目 .....	101
5.1 KEY & LED 控制 .....	101
5.1.1 实验目的 .....	101
5.1.2 实验内容 .....	101
5.1.3 预备知识 .....	101
5.1.4 实验原理 .....	101
5.1.5 实验方法 .....	105
5.2 点阵式 LCD 的控制 .....	116
5.2.1 实验目的 .....	116
5.2.2 实验内容 .....	116
5.2.3 预备知识 .....	116
5.2.4 实验原理 .....	117
5.2.5 实验方法 .....	122



5.3	串行口控制	135
80	5.3.1 实验目的	135
	5.3.2 实验内容	135
80	5.3.3 预备知识	136
80	5.3.4 实验原理	136
85	5.3.5 实验方法	139
95	5.4 直流电机控制	146
95	5.4.1 实验目的	146
95	5.4.2 实验内容	146
95	5.4.3 预备知识	146
95	5.4.4 实验原理	146
95	5.4.5 实验方法	151
95	5.5 步进电机控制	155
85	5.5.1 实验目的	155
98	5.5.2 实验内容	156
98	5.5.3 预备知识	156
98	5.5.4 实验原理	156
98	5.5.5 实验方法	158
98	5.6 音乐键+喇叭控制	162
98	5.6.1 实验目的	162
98	5.6.2 实验内容	163
98	5.6.3 预备知识	163
98	5.6.4 实验原理	163
98	5.6.5 实验方法	166
100	5.7 EEPROM 控制	176
	5.7.1 实验目的	176
100	5.7.2 实验内容	176
100	5.7.3 预备知识	176
100	5.7.4 实验原理	176
100	5.7.5 实验方法	182
100	5.8 温度、压力传感器控制	194
201	5.8.1 实验目的	194
201	5.8.2 实验内容	194
201	5.8.3 预备知识	194
201	5.8.4 实验原理	195
201	5.8.5 实验方法	201
211	5.9 综合实验	209
211	5.9.1 实验目的	209



---

5.9.2 实验内容 .....	209
5.9.3 实验环境 .....	209
5.9.4 实验原理 .....	209
5.9.5 实验方法 .....	212
<b>第6章 电子制作 .....</b>	<b>220</b>
6.1 电路构成 .....	220
6.2 闪存编程器的制作 .....	221
6.3 编程器的应用 .....	225
6.4 程序开发 .....	228
6.4.1 开发工具的准备 .....	228
6.4.2 编程 .....	228

# 第 1 章 基础部分

## 1.1 电阻

电路中对电流通过有阻碍作用并且造成能量消耗的部分叫做电阻。电阻常用 R 表示。电阻的单位是欧姆 ( $\Omega$ )，也常用千欧 ( $k\Omega$ ) 或者兆欧 ( $M\Omega$ ) 做单位。 $1k\Omega = 1000\Omega$ ， $1M\Omega = 1000000\Omega$ 。直插电阻器在安装前，应将引线刮光镀锡，以保证焊接可靠以及防止噪声的增加。在高频电路中，为了减少分布参数的影响，电阻器的引线不宜过长，小型电阻器的引线不应剪得过短，一般大于等于 5mm。焊接时，应用尖嘴钳或镊子夹住引线根部，以防热量传入电阻内部，使电阻值发生改变。安装、拆卸时也不可过分用力。额定功率 10W 以上的线绕电阻器，安装时必须水平接在特制的支架上，同时周围应留出一定的散热空间，以利于热量的散发。

### 1.1.1 电阻器参数的识别

电阻器的标称阻值和允许偏差要标注在电阻器上，用于识别。电阻器的参数表示方法有直标法、文字符号法、数码法和色标法四种。

#### 1. 直标法

直标法是一种常见的标注方法，也是一种最方便的方法。特别是在体积较大（功率大）的电阻器上采用。将该电阻器的标称阻值和允许偏差、型号、功率等参数直接标在电阻器表面，如图 1-1 所示。

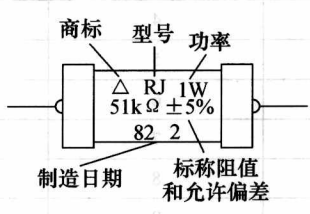


图 1-1 直标法

#### 2. 文字符号法

和直标法相同，也是直接将有关参数印在电阻器表面。如将  $5.7k\Omega$  标注在电阻器



上时标注成5k7，其中k既作单位，又作小数点。文字符号法中，通常用字母表示偏差，如图1-2(a)所示。此电阻器的阻值为100kΩ，偏差为±1%。图1-2(b)所示为碳膜电阻，阻值为1.8kΩ，偏差为±20%，用级别符号Ⅱ表示偏差。

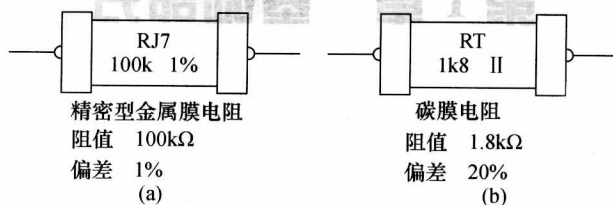


图1-2 文字符号法

### 3. 数码法

在电阻器上用三位数码表示标称值的标志方法。数码从左到右，第一、第二位为有效值，第三位为指数，即零的个数，单位为欧。偏差通常采用文字符号表示。

如贴片电阻上面白字如104、472、330等，数值的前两位是有效数，第三位是倍数。

104 有效数是10，4是倍数，它的阻值是  $10\Omega \times 10^4 = 100k\Omega$

472 有效数是47，2是倍数，它的阻值是  $47\Omega \times 10^2 = 4.7k\Omega$

330 有效数是33，0是倍数，它的阻值是  $33\Omega \times 10^0 = 33\Omega$

### 4. 色标法

用不同颜色表示元件的不同参数。在电阻器上，不同的颜色代表不同的标称阻值和偏差。色标法可以分为：色环法和色点法，最常用的是色环法。色标法中颜色和参数的关系如表1-1所示。

表1-1 色标法对照表

颜色	第一位有效值	第二位有效值	乘数	偏差
黑	0	0	$10^0$	
棕	1	1	$10^1$	±1%
红	2	2	$10^2$	±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	$10^9$	
金			$10^{-1}$	±5%
银			$10^{-2}$	
无色				±20%



色环电阻器中, 根据色环的环数多少, 分为四色环表示法和五色环表示法。如图 1-3 (a) 是用四色环表示标称阻值和允许偏差, 其中前三条色环表示此电阻的标称阻值, 最后一条表示它的偏差。如图 1-3 (b) 中色环颜色依次为: 黄、紫、橙、金, 则此电阻器标称阻值为:  $47 \times 10^3 \Omega = 47\text{k}\Omega$ , 偏差  $\pm 5\%$ 。如图 1-3 (c) 电阻器的色环颜色依次为: 蓝、灰、金、无色 (即只有三条色环), 则电阻器标称阻值为:  $68 \times 10^{-1} \Omega = 6.8 \Omega \pm 20\%$ 。

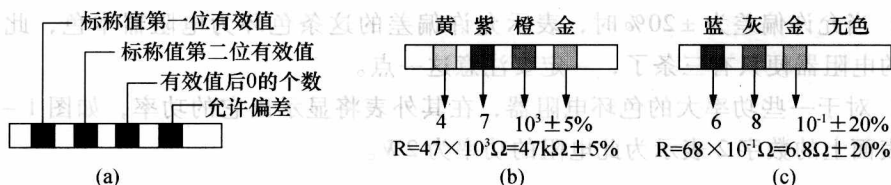


图 1-3 色标法——四色环表示法

精密五色环表示法如图 1-4 (a) 所示, 精密电阻器是用五条色环表示标称阻值和允许偏差的, 通常五色环电阻识别方法与四色环电阻一样, 只是比四色环电阻器多一位有效数字。图 1-4 (b) 中电阻器的色环颜色依次是: 棕、紫、绿、银、棕, 其标称阻值为:  $175 \times 10^{-2} \Omega = 1.75 \Omega$ , 偏差为  $\pm 1\%$ 。

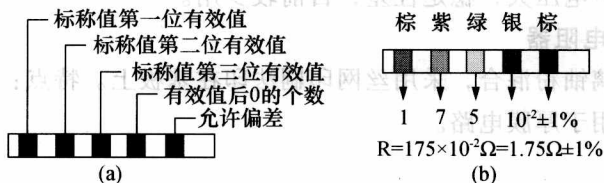


图 1-4 色标法——五色环表示法

判断色环电阻的第一条色环的方法:

(1) 对于未安装的电阻, 可以使用万用表测量电阻器的阻值, 再根据所读阻值看色环, 读出标称阻值。

(2) 对于已装配在电路板上的电阻, 可用以下方法进行判断:

① 四色环电阻为普通型电阻器, 从标称阻值系列表可知, 其只有三种系列, 允许偏差为  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ , 所对应的色环为: 金色、银色、无色。而金色、银色、无色这三种颜色没有有效数字, 所以, 金色、银色、无色作为四色环电阻器的偏差色环, 即为最后一条色环 (金色、银色除作偏差色环外, 可作为乘数)。

② 五色环电阻器为精密型电阻器, 一般常用棕色或红色作为偏差色环。

③ 第一条色环比较靠近电阻器一端引脚。

④ 表示电阻器标称阻值的那四条色环之间的间隔距离一般为等距离, 而表示偏差的色环 (即最后一条色环) 一般与第四条色环的间隔比较大, 以此判断哪一条为最后一条色环。如图 1-5 所示。

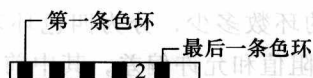


图 1-5 第一条色环的判定和功率的标定

识别色环电阻器时的注意事项：

- (1) 色环表中的标称阻值单位为  $\Omega$  (欧姆)。
- (2) 当允许偏差为  $\pm 20\%$  时，表示允许偏差的这条色环为电阻器本色，此时，四条色环的电阻器便只有三条了，一定要注意这一点。
- (3) 对于一些功率大的色环电阻器，在其外表将显示出它的功率，如图 1-5 中色环电阻表面上的数字 2 表示为此电阻的功率为 2W。

## 1.1.2 电阻器的种类

常用电阻器的种类有：实芯碳质电阻器、金属玻璃铀电阻器、绕线电阻器、薄膜电阻器、贴片电阻、电位器、敏感电阻器等。

### 1. 实芯碳质电阻器

用碳质颗粒状导电物质、填料和黏合剂混合制成一个实体的电阻器。特点：价格低廉，阻值误差、噪声电压大，稳定性差，目前较少用。

### 2. 金属玻璃铀电阻器

将金属粉和玻璃铀粉混合，采用丝网印刷法印在基板上。特点：耐潮湿和高温，温度系数小，主要应用于厚膜电路。

### 3. 绕线电阻器

用高阻合金线绕在绝缘骨架上，外面涂有耐热的釉绝缘层或绝缘漆。绕线电阻具有较低的温度系数，阻值精度高，稳定性好，耐热耐腐蚀，主要做精密大功率电阻使用，缺点是高频性能差，时间常数大。

### 4. 薄膜电阻器

用蒸发的方法将具有一定电阻率的材料蒸镀在绝缘材料表面制成。主要有：

- (1) 碳膜电阻器：成本低、性能稳定、阻值范围宽、温度系数和电压系数低，是目前应用最广泛的电阻器。
- (2) 金属膜电阻器：比碳膜电阻的精度高，稳定性好，噪声和温度系数小。主要应用于仪器仪表及通讯设备。
- (3) 金属氧化膜电阻器：高温下稳定，耐热冲击，负载能力强。
- (4) 合成膜电阻器也叫漆膜电阻器：特点是噪声大，精度低，主要用于制造高压、高阻、小型电阻器。

### 5. 贴片电阻

片状电阻是金属玻璃铀电阻的一种，电阻体是高可靠的钎系列玻璃铀材料经过高温烧结而成，电极采用钎银合金浆料。特点：体积小，精度高，稳定性好，高频性能好。



## 6. 电位器

是一种机电元件，靠电刷在电阻体上的滑动，取得与电刷位移成一定关系的输出电压。安装工艺分类主要有：

(1) 合成碳膜电位器：分辨力高、耐磨性好、寿命较长。缺点是电流噪声、非线性大，耐潮性以及阻值稳定性差。是目前广泛应用电位器。

(2) 有机实心电位器：与碳膜电位器相比具有耐热性好、功率大、可靠性高、耐磨性好的优点。但温度系数大、动噪声大、耐潮性差、制造工艺复杂、阻值精度较差。主要应用于小型化、高可靠、高耐磨性的电子设备以及交、直流电路中。

(3) 金属玻璃铀电位器：阻值范围宽、耐热性好、过载能力强、耐潮、耐磨等，缺点是接触电阻和电流噪声大。

(4) 线绕电位器：接触电阻小、精度高、温度系数小，缺点是分辨力差、阻值偏低、高频特性差。主要用作分压器、变阻器、仪器中调零和工作点等。

(5) 金属膜电位器：特点是耐高温、分辨力好、温度系数小、高频性能好，缺点是阻值范围窄、接触电阻大、耐磨性差。

(6) 导电塑料电位器：特点是平滑性好、分辨力优异、耐磨性好、寿命长、动噪声小、可靠性极高、耐化学腐蚀。用于宇宙装置、导弹、飞机雷达天线的伺服系统等。

按照电位器的结构，又可以分为：

(1) 带开关的电位器：有旋转式开关电位器、推拉式开关电位器、推推式开关电位器。

(2) 预调式电位器：预调式电位器在电路中，一旦调试好，用蜡封住调节位置，在一般情况下不再调节。

(3) 直滑式电位器：采用直滑方式改变电阻值。

(4) 双连电位器：有异轴双连电位器和同轴双连电位器。

(5) 无触点电位器：无触点电位器消除了机械接触，寿命长、可靠性高，分光电式电位器、磁敏式电位器等。

## 7. 敏感电阻器

敏感电阻是指器件特性对温度、电压、湿度、光照、气体、磁场、压力等作用敏感的电阻器。敏感电阻的符号是在普通电阻的符号中加一斜线，并在旁标注敏感电阻的类型，如  $t$ 、 $v$  等。如热敏电阻、压敏电阻、湿敏电阻、光敏电阻、气敏电阻、力敏电阻等。

### 1.1.3 电阻器的检测

在一般的电子设计中可以使用万用表来检测电阻的阻值。在检测前需要检查万用表是否需要更换电池，将档位旋钮依次置于电阻档  $R \times 1$  档和  $R \times 10k$  档，然后将红、黑测试笔短接。旋转调零电位器，观察指针是否指向零。如指针不能回零，则更换万用表的电池。测量时需选择合适的电阻档位，按万用表使用方法规定，万用表指针应在刻度的中心部分读数才较准确。测量时电阻器的阻值是万用表上刻度的数值与倍率的乘积。



如测量一电阻器，所选倍率为  $R \times 1$ ，刻度数值为 9.4，该电阻器电阻值为  $R = 9.4 \times 1 = 9.4\Omega$ 。另外，在测量电阻之前还必须进行电阻档调零，其方法与检查电池方法相同。下面是常用电阻的参考检测方法。

### 1. 固定电阻的检测

将两表笔分别与电阻的两端引脚相接触即可测出实际电阻值。测量时使指针指示值尽可能落到刻度的中段位置，即全刻度起始的 20% ~ 80% 弧度范围内，以使测量更准确。根据电阻误差等级不同，读数与标称阻值之间分别允许有  $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$  或  $\pm 20\%$  的误差。如不相符，超出误差范围，则说明该电阻值变值了。

### 2. 熔断电阻的检测

在电路中，当熔断电阻器熔断开路后，可根据经验判断：熔断电阻器表面发黑或烧焦，可断定是其负荷过重；如果其表面无任何痕迹而开路，则表明流过的电流刚好等于或稍大于其额定熔断值。此时可使用万用表  $R \times 1$  挡来测量。若测得的阻值为无穷大，则说明此熔断电阻器已失效开路，若测得的阻值与标称阻值相差甚远，表明电阻变值，也不宜再使用。

### 3. 电位器的检测

检查电位器时，首先要转动旋柄，看看旋柄转动是否平滑，开关是否灵活，开关通、断时“咯哒”声是否清脆，并听一听电位器内部接触点和电阻体摩擦的声音，如有“沙沙”声，说明质量不好。用万用表测试时，先根据被测电位器阻值的大小，选择好万用表的合适电阻挡位，然后可按下述方法进行检测：

(1) 用万用表的欧姆档测“1”、“2”两端，其读数应为电位器的标称阻值，如万用表的指针不动或阻值相差很多，则表明该电位器已损坏。

(2) 检测电位器的活动臂与电阻片的接触是否良好。用万用表的欧姆档测“1”、“2”（或“2”、“3”）两端，将电位器的转轴按逆时针方向旋至接近“关”的位置，这时电阻值越小越好。再顺时针慢慢旋转轴柄，电阻值应逐渐增大，表头中的指针应平稳移动。当轴柄旋至极端位置“3”时，阻值应接近电位器的标称阻值。如万用表的指针在电位器的轴柄转动过程中有跳动现象，说明活动触点有接触不良的故障。

### 4. 热敏电阻的检测

检测时，用万用表  $R \times 1$  档，常温下将两表笔接触热敏电阻的两引脚测出其实际阻值，并与标称阻值相对比，二者相差在  $\pm 2\Omega$  内即为正常。实际阻值若与标称阻值相差过大，则说明其性能不良或已损坏。

### 5. 压敏电阻的检测

用万用表的  $R \times 1k$  档测量压敏电阻两引脚之间的正、反向绝缘电阻，均为无穷大，否则，说明漏电流大。若所测电阻很小，说明压敏电阻已损坏，不能使用。

### 6. 光敏电阻的检测

(1) 用一黑纸片将光敏电阻的透光窗口遮住，此时万用表的指针基本保持不动，阻值接近无穷大。此值越大说明光敏电阻性能越好。若此值很小或接近为零，说明光敏电阻已烧穿损坏，不能再继续使用。

(2) 将一光源对准光敏电阻的透光窗口，此时万用表的指针应有较大幅度的摆动，



阻值明显减小, 此值越小说明光敏电阻性能越好。若此值很大甚至无穷大, 表明光敏电阻内部开路损坏, 也不能再继续使用。

(3) 将光敏电阻透光窗口对准入射光线, 用小黑纸片在光敏电阻的遮光窗上部晃动, 使其间断受光, 此时万用表指针应随黑纸片的晃动而左右摆动。如果万用表指针始终停在某一位置不随纸片晃动而摆动, 说明光敏电阻的光敏材料已经损坏。

## 1.2 电容

电容是衡量导体储存电荷能力的物理量。在两个相互绝缘的导体上, 加上一定的电压, 它们就会储存一定的电量。其中一个导体储存着正电荷, 另一个导体储存着大小相等的负电荷。加上的电压越大, 储存的电量就越多。储存的电量和加上的电压是成正比的, 它们的比值叫做电容。如果电压用  $U$  表示, 电量用  $Q$  表示, 电容用  $C$  表示, 则  $C = Q/U$ 。电容的单位是法 (F), 也常用微法 ( $\mu\text{F}$ ) 或者皮法 (pF) 做单位。  $1\text{F} = 10^6 \mu\text{F}$ ,  $1\text{F} = 10^{12} \text{pF}$ 。

### 1.2.1 电容参数的识别

电容的识别方法与电阻的识别方法基本相同, 有直标法、数标法和色标法。

#### 1. 字母数字混合标法

这种方法是国际电工委员会推荐的表示方法。

具体内容是: 用 2~4 位数字和一个字母表示标称容量, 其中数字表示有效数值, 字母表示数值的单位。字母有时既表示单位也表示小数点。如:

$$33\text{m} = 33 \times 10^3 \mu\text{F} = 33000 \mu\text{F} \quad 47\text{n} = 47 \times 10^{-3} \mu\text{F} = 0.047 \mu\text{F} \quad 3\mu 3 = 3.3 \mu\text{F}$$

$$5\text{n}9 = 5.9 \times 10^3 \text{pF} = 5900 \text{pF} \quad 2\text{p}2 = 2.2 \text{pF} \quad \mu 22 = 0.22 \mu\text{F}$$

#### 2. 不标单位的直接表示法

这种方法是 用 1~4 位数字表示, 容量单位为 pF。如数字部分大于 1 时, 单位为皮法; 当数字部分大于 0 小于 1 时, 其单位为微法 ( $\mu\text{F}$ )。如 3300 表示 3300 皮法 (pF), 680 表示 680 皮法 (pF), 7 表示 7 皮法 (pF), 0.056 表示 0.056 微法 ( $\mu\text{F}$ )。

#### 3. 数码表示法

一般用三位数表示容量的大小, 前面两位数字为电容器标称容量的有效数字, 第三位数字表示有效数字后面零的个数, 它们的单位是 pF。如:

$$102 = 10 \times 10^2 \text{pF} = 1000 \text{pF} \quad 221 = 22 \times 10^1 \text{pF} = 220 \text{pF}$$

$$224 = 22 \times 10^4 \text{pF} = 220000 \text{pF} = 0.22 \mu\text{F} \quad 473 = 47 \times 10^3 \text{pF} = 47000 \text{pF} = 0.047 \mu\text{F}$$

#### 4. 电容器的色码表示法

色码表示法是用不同的颜色表示不同的数字, 其颜色和识别方法与电阻色码表示法一样, 单位为 pF。小型电解电容器的耐压也有用色标法的, 位置靠近正极引出线的根