

● 大学理工科教学、实习通用教材

电子技术

实习教程

(第二版)

严一白 王家伟 主编 姚 勤 主审

上海交通大学出版社

大学理工科教学、实习通用教材

电子技术实习教程

(第二版)

主 编	严一白	王家伟
副主编	蒋荣龙	陈方泉
主 审	姚 勤	

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书共分7章,第1章主要介绍元器件(电阻器、电容器、电感器、半导体、半导体分立器件和集成电路)的原理、型号命名、分类和应用,第2章主要介绍安全生产、电子产品的焊接和装配工艺,第3章主要介绍电子产品的标准化,第4章主要介绍电子产品技术图的绘制,第5章主要介绍收音机、万用电表的原理和调试,第6章主要介绍电子仿真设计软件(EDA)系统,第7章主要介绍计算机辅助电子设计软件(Protel 99 SE)系统。

作者根据教学要求与学生的实际操作,对教材的第1版做了部分修改,尤其是第2章和第5章的大部分内容重新调整编写,第7章增加了基础知识练习题,每章后都增加了思考题。

本书可作为大学理工科学生电子技术实习的课堂教学和实践教学用教材,也可作为初入门的电子工程技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术实习教程/严一白,王家伟主编. -2版. -上海:
上海交通大学出版社,2006
ISBN 7-313-03643-4

I. 电… II. ①严…②王… III. 电子技术-实习-高等学校-教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 011890 号

电子技术实习教程

第二版

严一白 王家伟 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:14.25 字数:349千字

2004年3月第1版 2006年8月第2版 2006年8月第2次印刷

印数:6 050

ISBN 7-313-03643-4/TN·122 定价:20.00元

版权所有 侵权必究

前 言

电子技术是一门实践性很强的学科。大多数学生总觉得在学习过程中缺少从理论到实践的感性认识,书中理论知识学了不少,但在社会实践中碰上诸如电子设计、检修及仪器仪表操作时,却因无感性认识,使问题无法解决。为了解决这一问题,各高校纷纷创办了电子实习教学,并开始培训学生由电子实践基础理论到实际操作的全过程。

十多年来,电子工业的飞跃发展,使原来的教科书更显得落伍,为满足 21 世纪培养适应性学生的需要,急需能适合当前大学理工科学生电子实习的教材。本教材是在原教材通过两年多实际使用后为了能更好地适应新时期的教学要求的基础上,进行了较大的改动和更新,既注重实际使用中较常用的知识面,又顾及当今计算机电子仿真设计软件(EDA 系统、Protel 99 SE 系统)的实际应用。力求使学生能在整个实习培训过程中掌握这些知识,培养学生综合能力,全面提高素质,使学生在跨出校门踏上社会的同时能适应社会,更具竞争力。

本教材第二版根据教学要求与学生的实际操作情况对教材做了部分修改,尤其是第 2 章和第 5 章的大部分内容基本上重新编写的,第 7 章增加了 Protel 99 SE 基础知识练习题。为使学习的内容与理论知识相匹配,作者既注重基本理论又注重学生实际操作技能的培养,尽可能扩大学生的知识面,丰富学生从理性认识到感性认识的过程。第二版在每章后都增加了相应的思考题,使之更符合要求。学生通过对本书的学习,能完全独立自主地进行一些电子模块的设计和仿真。

本书由严一白、王家伟任主编,蒋荣龙、陈方泉任副主编,姚勤任主审。第 1 章由严一白、倪彦芬、周兰珍编写,第 2 章由严一白编写,第 3 章由王家伟、赵耀华编写,第 4 章由陈方泉、王家伟编写,第 5 章由李颖芝、严一白、蒋荣龙编写,第 6 章由赵耀华、谢根发、周兰珍编写,第 7 章由李颖芝、严一白编写。书中的插图由严一白、李颖芝、赵耀华绘制。

本书在编写过程中,参考了有关教材、手册、资料,并得到鞠鲁粤教授的协助和精心指导,在此表示诚挚的谢意!

书中难免有错误和不妥之处,还望读者批评指正。

编 者

2006 年 9 月

目 录

1 电子产品常用元器件	1
1.1 电阻器	1
1.2 电容器	9
1.3 电感器	18
1.4 电声器件	21
1.5 变压器	24
1.6 半导体器件	30
1.7 集成电路	38
思考题	41
2 电子产品生产工艺	44
2.1 安全生产	44
2.2 电子产品生产的基本知识	47
2.3 电子产品生产工艺	51
附 常用电子仪器仪表	68
思考题	73
3 电子产品标准化与技术文件	74
3.1 企业标准化的地位和作用	74
3.2 标准的级别和类别	76
3.3 设计文件	79
3.4 产品说明书	84
3.5 产品鉴定文件	85
3.6 ISO 9000 系列质量标准简介	87
3.7 质量体系文件化	89
思考题	93
4 电气制图的基本知识	94
4.1 电气制图常识	94
4.2 电气制图的一般规则	96
4.3 系统图和框图的绘制	101
4.4 电路图的绘制	102
4.5 逻辑图的绘制	105

思考题.....	108
5 收音机和万用表的安装与调试	109
5.1 收音机的安装与调试	109
5.2 万用表的安装与调试	124
思考题.....	132
6 EWB 入门.....	134
6.1 EWB 的基本界面.....	134
6.2 EWB 的基本操作.....	142
6.3 仪器仪表的使用	145
6.4 基本分析方法	150
6.5 文件打印及示例电路图	154
附 555 电路简介	156
思考题.....	157
7 Protel 99 SE	158
7.1 Protel 99 SE(SCH)电原理图设计	158
7.2 Protel 99 SE(PCB)印制电路板设计.....	191
思考题.....	217
附录 Protel 99 SE 基础知识训练题	218
参考文献.....	221

1 电子产品常用元器件

随着我国电子工业的不断发展,电子元器件的品种、规格越来越多,而电子产品的性能优劣,不仅与电路的设计、结构和工艺水平有关,而且与正确选用电子元器件有很大关系,因此对常用电子元器件的结构、特点、使用方法及注意事项等基本知识应有所了解。

常用电子元件包括电阻器、电容器、电感器、开关和接插件等。

常用电子器件包括晶体二极管、晶体三极管、集成电路、厚膜电路和电子管。

1.1 电阻器

1.1.1 概述

各种材料的物体对通过它的电流呈一定阻力,这种阻碍电流的作用叫做电阻。

具有一定阻值、几何形状、技术性能的,专在电路中起电阻作用的元件叫做电阻器(简称电阻)。电阻是组成电路的基本元件之一,也是最常用的电子元件。它用来稳定和调节电流、电压,作分流器、分压器;与电容器配合作滤波器;在电源中作退耦电阻;确定晶体管工作点,作偏置电阻;在稳压源中作取样电阻等。

电阻用文字符号 R 表示。

电阻的基本单位为欧姆(Ω),为便于识别和计算,也常以千欧姆($k\Omega$)、兆欧姆($M\Omega$)为单位。它们的关系为:

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

1.1.2 电阻器型号命名及填写示例

1.1.2.1 电阻器型号命名方法(见表 1-1)

根据 GB/T2470—1995 规定,电阻器型号由主称、材料、分类、序号等四部分组成。

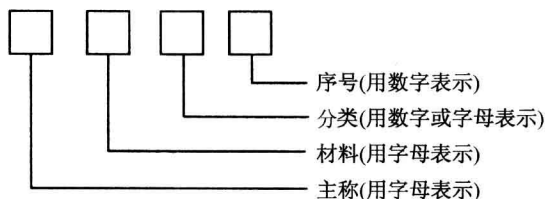


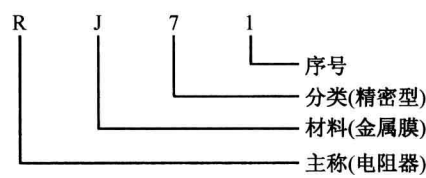
表 1-1 电阻器型号命名方法

第一部分:主称		第二部分:材料		第三部分:分类		第四部分:序号
字母	含义	字母	含义	符号	产品类型	常用个位数或无数字表示
R W	电阻器 可变电阻器	T	碳膜	1	普通型	
		H	合成膜	2	普通型	
		S	有机实芯	3	超高频	
		N	无机实芯	4	高阻	
		J	金属膜	5	高阻	
		Y	金属氧化膜	6	—	
		C	化学沉积膜	7	精密型	
		I	玻璃釉膜	8	高压型	
		X	线绕	9	特殊型	
				G	高功率	
				W	微调	
				T	可调	
				D	多圈	

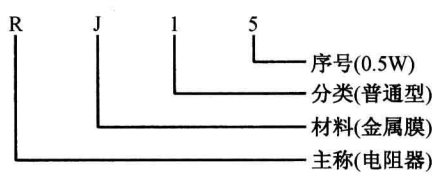
注:常用的金属膜普通电阻器型号命名中第四部分数字代号意义见下表:

型 号	RJ13	RJ14	RJ15	RJ24	RJ25
额定功率/W	1/16	1/4	1/2	1/4	1/2

示例 1:RJ71 精密金属膜电阻器

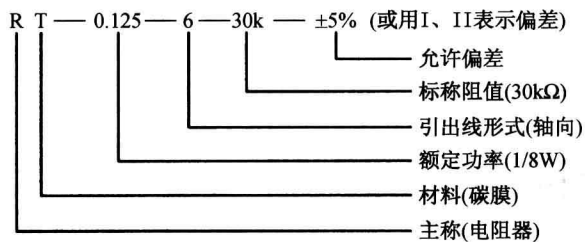


示例 2:RJ15 普通型金属膜电阻器

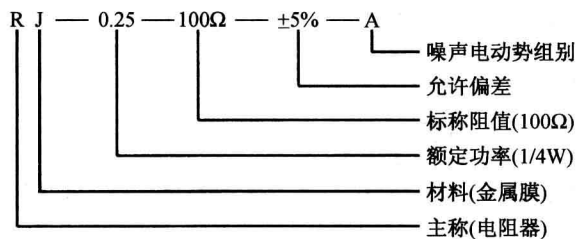


1.1.2.2 电阻器填写示例

在电阻器生产的工艺单、明细表及商店标牌上,常用下列方法填写电阻器的型号规格。
示例 1:



示例 2:



1.1.3 电阻器分类

如图 1-1 所示。在日常使用中我们常按其阻值能否调节,分为固定电阻器、可变电阻器和半可变电阻器三大类。

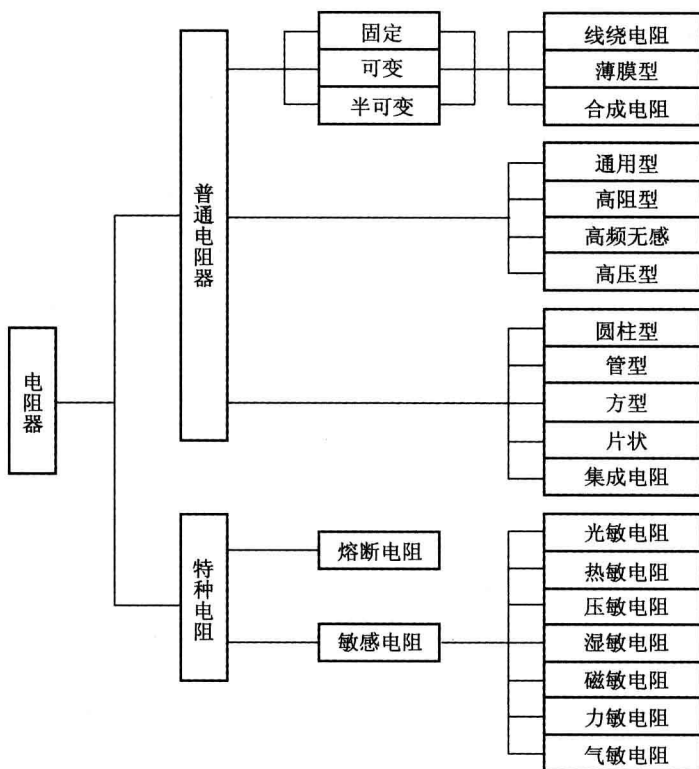


图 1-1 电阻器分类

1.1.4 电阻器图形符号

GB/T47284—1999 规定电阻器的图形符号见图 1-2。

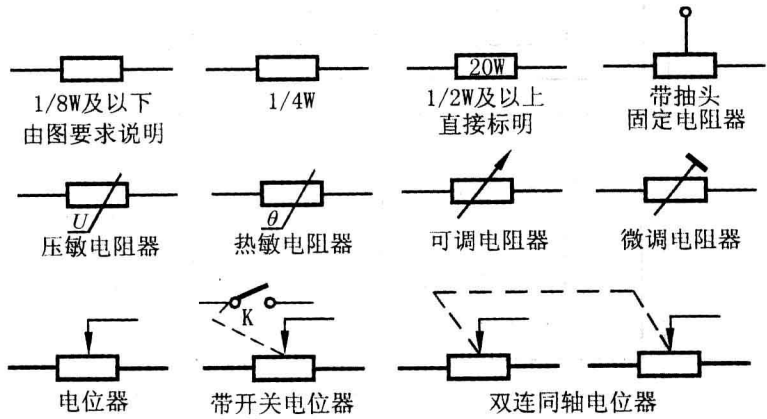


图 1-2 电阻器图形符号

1.1.5 电阻器主要参数

1.1.5.1 标称阻值和允许偏差

一个电阻器，其所标注的阻值叫标称阻值。

为便于工厂的商品化、规模化生产，并能满足用户的使用要求，工业产品必须按一定规律进行设计和生产，也就是使产品规格化，即对同一种类产品的主要参数、尺寸等科学地予以安排和规划。如电阻器的阻值、电容器的容量、电感器的电感量等元件规格，都是按特定的数列提供的，这个数列被称为优先数系。

电阻器的标称阻值主要采用 E 数系，它有三个普通系列 E6、E12、E24，还有三个精密系列 E48、E96、E192，其中最常用的是 E6、E12、E24，相应的标称值见表 1-2。

表 1-2 电阻器、可变电阻器、电容器标称值系列

标称值系	精度	标 称 值
E6	±20%	1.0,1.5,2.2,3.3,4.7,6.8
E12	±10%	1.0,1.2,1.5,1.8,2.2,2.7,3.3,3.9,4.7,5.6,6.8,8.2
E24	±5%	1.0,1.1,1.2,1.3,1.5,1.6,1.8,2.0,2.2,2.4,2.7,3.0,3.3,3.6,3.9,4.3,4.7,5.1,5.6,6.2,6.8,7.5,8.2,9.1

注：表中数值再乘以 10^n (n 为正整数或负整数)。

电阻器的实际阻值与标称阻值的允许最大偏差范围叫电阻器的精度，又称允许偏差 δ 。

$$\delta = \frac{R - R_R}{R_R} \times 100\%$$

式中：

R_R ——标称阻值；

R ——实际阻值。

精度高的电阻器温度系数小,阻值稳定性高。普通电阻对应于 E6、E12、E24 标称值的精度为 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$,精密电阻对应于 E48、E96、E192 标称值的精度为 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 0.25\%$ 、 $\pm 0.1\%$ 。为便于选用,各级精度常用标准符号来代表,见表 1-3。

表 1-3 电阻器常用偏差的数值、精度等级和标准符号

允许偏差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.25\%$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
精度等级			005	01(或 00)	02(或 0)	I	II	
符号	B	C	D	F	G	J	K	M

1.1.5.2 额定功率

在交流或直流电路中,当大气压力为 $10 \pm 4\text{kPa}$ 和在产品标准所规定的温度下,电阻器能长期连续负荷正常运行所允许消耗的最大功率称为额定功率,单位为 W(瓦)。功率较大的电阻一般都将额定功率直接标注在电阻器的表面。

1.1.5.3 噪声电动势

由于电阻体内载流子密度的变化,在电阻器两端产生不规则的电位起伏,称为电阻器的噪声。通常用热噪声和电流噪声两种表示,噪声电动势单位为 $\mu\text{V/V}$ 。

低噪声电阻器有:金属膜、金属氧化膜、线绕电阻器。

高噪声电阻器有:碳膜、碳膜合成、实芯电阻器。

1.1.5.4 电阻温度系数(α_t)

温度每变化 1°C 时,电阻值的相对变化量称为电阻温度系数,其单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。 α_t 值越大,热稳定性就越差。

$$\alpha_t = \frac{R_t - R_0}{R_0(t - t_0)} \times 100\%$$

式中:

R_t ——环境温度 t 时阻值;

R_0 ——参考温度 t_0 时阻值。

1.1.5.5 老化系数

老化系数是表示电阻器使用寿命长短的一个参数。老化系数越小,电阻器的使用寿命就越长。在数值上等于电阻器在 P_R (额定功率) 和 $U_{\max}$ (最高工作电压) 下,在一定时间负载工作后,阻值相对变化的百分数,即

$$\frac{\Delta R}{R} \times 100\%$$

式中 ΔR 是电阻的变化量。

1.1.5.6 电压系数(K_V)

外加电压每改变 1V 时,电阻器阻值的相对变化量称为电压系数,其单位为 $1/\text{V}$ 。电压系数

$$K_V = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\%$$

式中:

U_2, U_1 ——不同的两个外加电压;

R_2, R_1 ——对应于 U_2, U_1 时的阻值。

电压系数最小:线绕电阻器。

电压系数最大:碳膜、碳膜合成、实芯电阻器。

1.1.5.7 高频特性

随工作频率的提高,电阻器本身的分布电感和分布电容所起的作用越来越明显。其高频等效电路如图 1-3 所示。

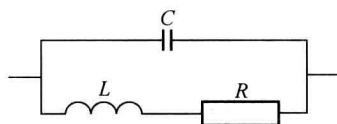


图 1-3 电阻器高频等效电路

1.1.6 固定电阻器标志方法

为了区分和准确选用电阻器,出厂时必须在电阻器表面上标明阻值、允许偏差等主要参数。常用标志方法有以下几种。

1.1.6.1 直接标志法(直标法)

直接标志法是将电阻器的主要参数直接印刷在电阻器表面上的一种标志方法。如图 1-4 所示。

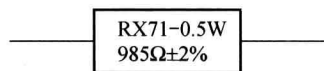


图 1-4 电阻器直标法

1.1.6.2 文字符号法

文字符号法是将电阻器的主要参数用数字和文字符号有规律地组合起来印刷在电阻器表面上的一种标志方法。其组合形式为:

整数部分 + 阻值单位符号(Ω 、k、M) + 小数部分 + 允许偏差

例: $\Omega 47K$ —— $0.47\Omega \pm 10\%$ (K 是允许偏差)

$2k2J$ —— $2.2k\Omega \pm 5\%$ (J 是允许偏差)

$4M7K$ —— $4.7M\Omega \pm 10\%$ (K 是允许偏差)

$7M5M$ —— $7.5M\Omega \pm 20\%$ (M 是允许偏差)

1.1.6.3 数码标志法

数码标志法是用三位数字表示阻值大小的一种标志方法。从左到右,第一、二位数表示该电阻器阻值的有效数字,而第三位则表示前两位有效数字后面应加“0”的个数(此处若为 9 则是特例,表示 10^{-1})。

例: $101M$ —— 100Ω , 允许偏差 $\pm 20\%$

$472J$ —— $4.7k\Omega$, 允许偏差 $\pm 5\%$

1.1.6.4 色环标志法(色标法)

色环标志法是用不同颜色的色环把电阻器的参数(阻值和允许偏差)直接标在电阻器表面的一种标志方法。色环颜色与数字的对应关系参见表 1-4、1-5。

(1) 固定电阻器色环标志的两种形式:

a. 四环标志——适用于通用电阻器,有二位有效数字。

b. 五环标志——适用于精密电阻器,有三位有效数字。

(2) 色环电阻器的识别。要准确熟练地识别每一色环电阻器阻值大小和偏差大小,必须掌握以下几点:

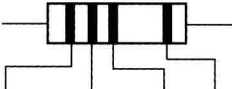
a. 熟记表中的色环与数字的对应关系。

b. 找出色环电阻器的起始环,色环靠近引出线端最近一环为起始环(即第一环)。

c. 若是四环电阻器,只有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 三种允许偏差,所以凡是有金或银色环的,便是尾环(即第四环)。

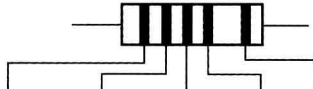
d. 五环色标电阻器,按上述(b)识别。

表 1-4 四环标志法



颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	倍率	允许偏差
黑	0	0	10^0	
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	
金			10^{-1}	$\pm 5\%$
银			10^{-2}	$\pm 10\%$
无色				$\pm 20\%$

表 1-5 五环标志法



颜色	第一位有效数字	第二位有效数字	第三位有效数字	倍率	允许偏差
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	$\pm 1\%$
红	2	2	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	$\pm 0.5\%$
蓝	6	6	6	10^6	$\pm 0.25\%$
紫	7	7	7	10^7	$\pm 0.1\%$
灰	8	8	8	10^8	
白	9	9	9	10^9	
金				10^{-1}	$\pm 5\%$
银				10^{-2}	$\pm 10\%$

1.1.7 电阻器质量判别及选用

1.1.7.1 质量判别

先从外观上查看电阻器的电阻体或引线是否折断或烧焦;若电阻体或引线有异常,以致接触不良时,试用手轻轻地摇动引线,观察有否松动现象,或用万用表测量电阻,观察阻值是否相符或超差。

1.1.7.2 选用原则

- (1)根据使用条件和电路中的具体要求。应优先使用普通型标准阻值系列。
- (2)选用电阻器的额定功率应是实际承受功率的 1.5 ~2 倍。
- (3)在高增益前置放大电路中,应选噪声电动势小的电阻器。
- (4)根据对温度稳定性的要求,选用合适的电阻。
- (5)根据对工作频率的要求,正确选择电阻产品(分布参数问题)。

1.1.8 电位器

电位器实际上是一种可变电阻器,靠一个电刷(动接点)在电阻体上移动,从而获得与电位器输入电压(外加电压)和电刷位移(转角)成一定关系的输出电压值。

在电路中,电位器一般用作分压器和变阻器,用以调节电压、电流等。

1.1.8.1 电位器性能指标及参数

表征电位器性能的参数很多,主要有标称阻值、阻值精度等级、额定功率、温度系数、动噪声、平滑性、零位电阻、分辨力、绝缘电阻、耐磨寿命等。

电位器的阻值变化规律有三种:线性式(X)、指数式(Z)、对数式(D)三种型式电位器阻值与转角关系,如图 1-5 所示。

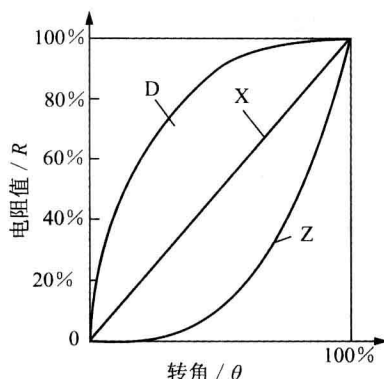


图 1-5 电位器阻值与转角关系

图中:

X——线性式,阻值随旋转角度均匀变化,用作分压、调节电流(场频调整);

D——对数式,阻值随旋转角度按对数关系(阻值变化始快后慢)变化,适用于特殊调节(如分压式、黑白对比度调节);

Z——指数式,阻值随旋转角度按指数关系(阻值变化始慢后快)变化,适用于特殊调节(如音量调节)。

1.1.8.2 电位器质量判别

(1) 用万用表检测电位器开关,将开关置于“开”和“关”,如表针分别显示“通”和“断”,则表示正常。

(2) 再测量电位器两端焊片,其阻值应与标称值相同。

(3) 将表棒接中心抽头及电位器任一端,旋转电位器轴柄,如表针徐徐变动而无跌落现象,则说明电位器正常。

1.1.8.3 电位器的选用

(1) 线性式一般用于分压、分流、音调控制电路中。

(2) 对数式一般用于电视机、示波器的对比度和亮度调节。

(3) 指数式一般用于收音机、扩音机低放电路中的音量调节。

1.1.9 电阻器外形图

电阻器的各种外形如图 1-6 所示。

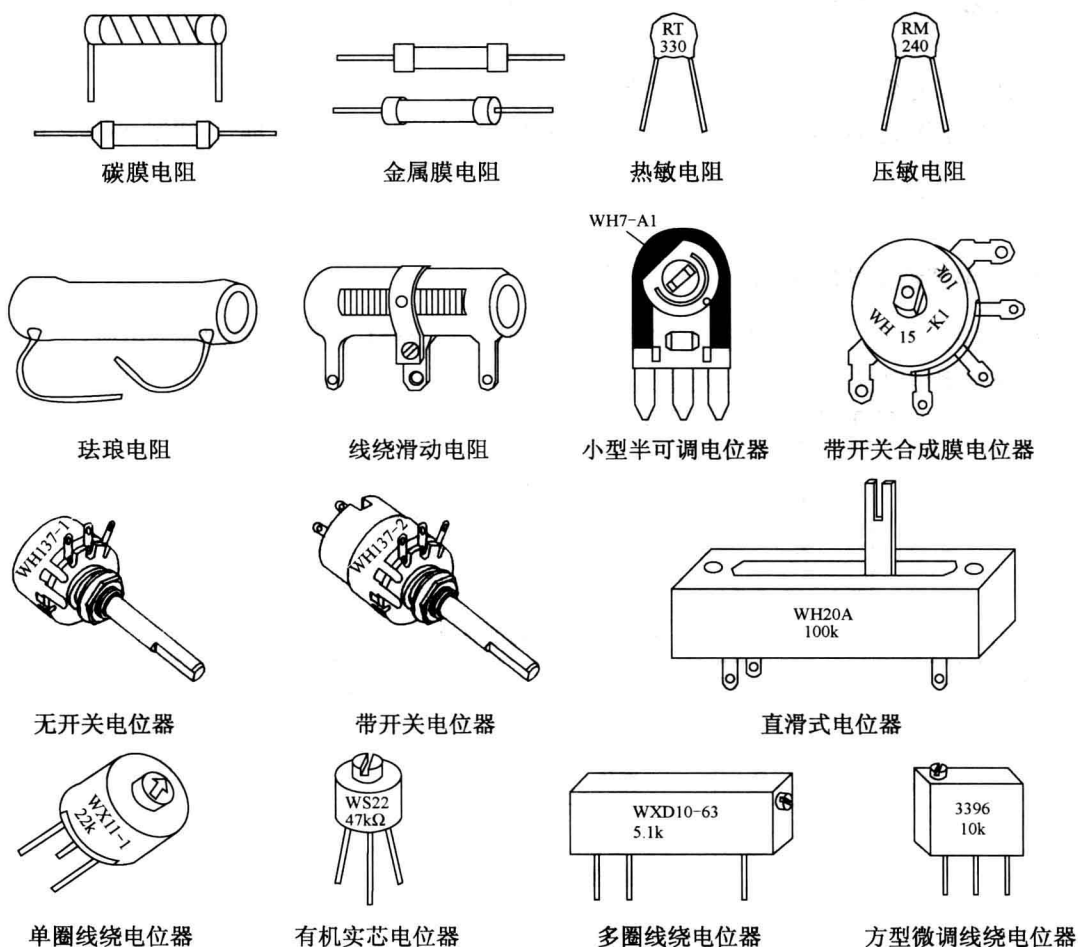


图 1-6 电阻器外形图

1.2 电容器

1.2.1 概述

电容器是由两个金属电极中间夹一层电介质构成的电子元件。电容器是充放电荷的电子元件,能储存电荷。电容器储存电荷量的多少,取决于电容器的电容量。

电容量在数值上等于一个导电极板上的电荷量与两块极板之间的电位差之比值

$$C = \frac{Q}{U}$$

式中:

C ——电容量,单位:F(法拉第,简称法);

Q ——极板上电荷量,单位 C(库仑,简称库);

U ——两极板间电位差,单位 V(伏特,简称伏)。

电容器的基本单位:F(法)、mF(毫法)、μF(微法)、nF(纳法)、pF(皮法,俗称微微法)。

电容器的换算关系:1F=10³ mF=10⁶ μF=10⁹ nF=10¹² pF。

上述换算关系中 mF 和 nF 只在文字符号法中采用。

电容器是组成电路的基本元件之一,在电路中作隔直流、交流旁路、耦合、滤波、调谐之用等。

1.2.2 电容器型号命名方法及填写示例

1.2.2.1 电容器型号命名方法

根据 GB/T2470—1995 规定,电容器型号一般由主称、材料、分类、序号四部分组成:

电容器型号组成部分的代号及意义见表 1-6、1-7。

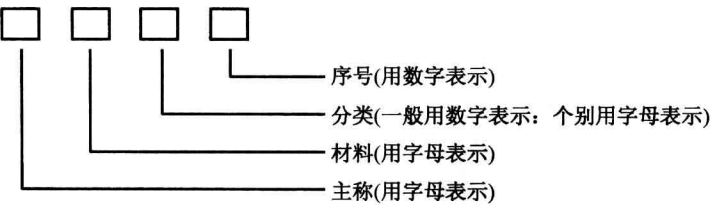


表 1-6 电容器型号命名

第一部分:主称		第二部分:材料		第三部分:分类	第四部分:序号
符号	含义	符号	含义	见表 1-7	常用个位数 或无数字表示
C	电容器	C	瓷价		
		Y	云母		
		I	玻璃釉		
		O	玻璃(膜)		
		B	聚苯乙烯		
		F	聚四氟乙烯		
		L	涤纶		
		S	聚碳酸酯		
		Q	漆膜		
		Z	纸介		
		H	混合介质		
		D	铝电解		
		A	钽		
		N	铌		
		T	钛		

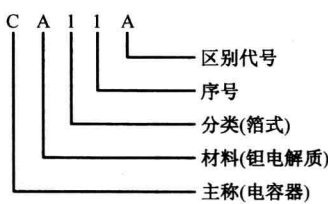
表 1-7 电容器分类代号

数字 代号	分 类				字母	意义
	意 义					
	瓷介	云母	有机	电解	G	高功率
1	圆片	非密封	非密封	箔式	W	微调
2	管型	非密封	非密封	箔式	X	小型
3	叠片	密封	密封	烧结粉液体		
4	独石	密封	密封	烧结粉固体		
5	穿芯	—	穿芯	—		
6	支柱	—	—			
7	—	—	—	无极性		
8	高压	高压	高压	—		
9	—	—	特殊	特殊		

示例 1:CCW1 型圆片形微调瓷介电容器



示例 2:CA11A 型钽箔式电解电容器



1.2.2.2 电容器填写示例

在电容器生产厂的工艺单、明细表及商店标牌上,填写电容器的型号规格时,应标明电容器的类型、额定直流工作电压、标称容量、容量允许偏差级别和标准代号等主要内容。

示例 1:180pF 耐压 250V 云母电容器

