

电子产品开发设计与制作

王俊峰 编著

人 民 邮 电 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

电子产品开发设计与制作/王俊峰编著. —北京：人民邮电出版社，2005.1
ISBN 7-115-12850-2

. 电... . 王... . 电子产品—技术开发 . F416.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 115827 号

内 容 提 要

全书共八章。第一章主要介绍元器件的选择与使用。第二章主要介绍电子产品的市场信息、市场研究、市场调研、产品的寿命周期、新产品开发程序和经营策略等。第三章至第七章分别介绍了电子产品的技术文件、标准化设计制图、电子产品的电路设计、电子设计自动化技术及应用和产品的造型设计以及商标设计等。第八章主要介绍整机的结构设计制作、印制板的制作工艺、焊接与装配工艺、调试与质量检验等内容。为了给设计者带来方便，在附录里介绍常用元器件的参数，便于设计时随时查找。

本书突出新颖性、科学性、实用性和可操作性的原则。

本书可作为电子产品开发设计制作的指导书，大中专院校课程设计、毕业设计及大学生电子制作大赛参考书，也可作为广大电子爱好者的自学教材。

电子产品开发设计与制作

◆ 编 著 王俊峰

责任编辑 张 伟 赵桂珍

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线：010-67129264

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京顺义振华印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本：787×1092 1/16

印张：15.25

字数：373 千字 2005 年 1 月第 1 版

印数：1— 000 册 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-12850-2/TH · 2359

定价：20.00 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010) 67129223

前 言

《电子产品开发设计与制作》是应广大电子科技工作者、电子爱好者急需，而目前尚无系统介绍这方面的科技书而编写的。为即将毕业走向工作岗位的大、中专学生，提供了电子产品开发设计制作的方法与技能，使其走上工作岗位后能尽快进入角色。

本书主要介绍常用电子元器件的选择与使用，电子产品技术开发的方法，电子产品设计技术文件的编制，电子产品标准化设计制图，电子产品电路的设计，电子设计自动化技术及应用，整机造型与商标设计，电子产品的整机设计与制作以及为电子产品制作必需的有关技术资料等内容。

本书从市场经济角度出发，介绍了电子产品开发过程中市场信息、市场调研、方案论证、产品开发的选题原则与方法，新产品开发的程序，经营管理策略的科学性、必要性及可行性。

在电路设计上除了介绍常规的设计方法外，还介绍了电子设计自动化技术的概念和设计举例。

本书以电子产品开发设计与制作为中心，从元件到整机；从设计文件到制作工艺；从开发设计到加工制作；从造型设计到商标设计；从理论到实际应用；介绍了电子产品的方方面面。读了此书后，让你“走完”了“电子产品开发设计与制作”的一个全过程。

本书着重于实用性。为了帮助读者开拓思路，增加乐趣，提高技能，收到实效，自己动手开发设计制作电子产品，书中举出一些实例供制作时参考，以利于制作的电子产品从实验室变成商品走向市场，产生良好的社会效益和经济效益。

本书可作为电子产品开发、设计及制作的指导书，大、中专院校电子技术类专业学生毕业设计、课程设计、电子制作大赛的参考教材；也可供电子产品厂家职工技术培训和广大电子爱好者自学使用。

我们热切期望广大读者能始之以爱好，继之以追求，终之以创造，为振兴我国的电子工业创造辉煌。

本书由王俊峰主编。在编写过程中，得到北京理工大学李传光、薛鸿德教授，河南师范大学吴慎山教授，郑州大学张军博士、党旭丹、陈东明硕士的指导与帮助，在此向他们表示感谢；王娟、薛素云、陈乃生、陈建国等同志负责文字输入与画图。他们做了大量的工作，为本书的顺利编写做出了很大的贡献。

由于时间仓促，限于编者水平，书中难免存在错误和不足，恳请读者给以批评指正。

编 者

目 录

第一章 电子产品常用元器件	1
第一节 电子产品常用元器件的主要参数	1
一、电子元器件的特性参数	1
二、标称值与标称值系列	1
三、允许偏差和精度等级	2
四、额定值和极限值	2
五、电子元器件的质量参数	3
第二节 电阻器、电容器与电感器的选用	4
一、电阻器	4
二、电容器	6
三、电感器	8
第三节 常用半导体元器件的选用	9
一、二极管	9
二、三极管	11
三、单结晶体管	12
四、晶闸管	13
五、光电二极管和光电三极管	14
六、场效应晶体管的测量	16
第四节 常用集成电路的使用方法	16
一、集成电路命名规则	16
二、运算放大器的使用	18
三、TTL 集成电路的使用规则	19
四、CMOS 集成电路的使用规则	20
第五节 常用开关与插接件	21
一、开关	21
二、插接件	21
第二章 电子产品的技术开发	23
第一节 电子产品的市场信息	23
一、信息管理的意义	23
二、市场信息的种类	25
三、技术项目信息的价值	26
第二节 电子产品的市场研究	27
一、市场研究的意义	27

二、市场研究的内容	28
三、市场研究的分类	28
第三节 电子产品的寿命周期	29
一、电子产品寿命周期的四个阶段	29
二、产品寿命周期理论的意义	30
第四节 电子产品的市场调研	32
第五节 开发产品选题的原则与途径	34
一、选题原则	34
二、选题途径	35
第六节 产品的概念与分类	36
一、产品的概念	36
二、产品概念的三个层次	36
三、产品的分类	36
第七节 技术开发与产品开发	37
一、技术开发与产品开发	37
二、目标功能与基本功能	37
三、目标值与理想功能	38
四、功能性评价——SN 比	38
五、开发程序	39
六、试验	39
七、技术开发的特性	40
第八节 电子新产品开发	40
一、新产品的概念和开发新产品的意义	40
二、开发新产品的方式和应遵循的原则	42
三、开发新产品的策略	44
四、新产品开发的程序	45
第九节 电子产品的市场策略	48
一、市场策略的基本原则	49
二、成熟期产品的经营策略	50
三、衰退期产品的经营策略	51
四、淘汰衰退产品的条件和策略	52
第十节 电子产品的现状与展望	53
一、现状	53
二、电子产品的应用领域	54
三、电子产品发展的有利环境和条件	54
四、未来电子产品发展趋势	55
五、电子工业人才需求	56
第三章 电子产品技术文件	57
第一节 电子产品设计技术文件的分类和组成	57

一、设计文件的分类	57
二、设计文件的组成	58
三、整机装配常用文件	59
第二节 新产品的设计技术文件	60
一、技术任务书	60
二、技术设计书	61
第三节 电子产品的工艺文件	62
一、工艺	62
二、工艺文件	62
三、新产品试制的工艺编制	62
第四节 产品图样设计文件的编号	63
一、十进制分类编号方法（摘自 SJ1580-80）	63
二、隶属编号方法（摘自 ZB/TJ01 035 · 4-90）	65
第五节 产品图样的标题栏与技术说明	65
一、标题栏的组成	65
二、技术说明	66
第四章 标准化设计制图	68
第一节 标准化设计制图的一般规则	68
一、标准化设计的意义	68
二、图纸幅面及其格式	68
三、图线和字体	69
四、简图的绘制原则	71
第二节 电路图组成及分类	74
一、电路图的基本组成	75
二、电路图的分类	77
第三节 电气原理图的设计	78
一、原理图的设计	79
二、绘制原理图及注意事项	79
第四节 电路接线图的设计	81
一、绘制接线图的原则	81
二、绘制接线图的方法	82
第五节 逻辑电路图	85
一、常用逻辑符号	85
二、逻辑图的绘制方法	86
三、逻辑图的化简	87
第六节 产品工艺图	87
一、实物装配图	87
二、印制电路板图	88
第七节 绘图软件 Protel 99 SE 简介	88

一、Protel 99 SE 的主要功能	88
二、Protel 99 SE 的设计组件	89
三、Protel 99 SE 的启动	89
四、Protel 99 SE 的主窗口界面	89
五、创建和关闭设计数据库	90
六、Protel 99 SE 的关闭	91
第八节 Protel 99 SE 设计电路原理图	92
一、进入电路原理图编辑器的方法	92
二、Protel 99 SE 的原理图编辑工具栏及画面调整	93
三、电路原理图设计方法	95
四、将原理图生成报表文件	100
第九节 Protel 99 SE 设计印制电路板图	101
一、PCB 图的设计流程	101
二、新建或打开 PCB 文档	102
三、PCB 编辑工具栏	102
四、规划印制电路板	103
五、手工布局	106
六、手工布线	110
七、自动布局	112
八、自动布线	113
第十节 分析电路图的方法与技巧	115
一、分析电路的一般步骤	115
二、分析技巧	116
三、电路分析举例	116
第五章 电子产品的设计	120
第一节 设计的基本概念与程序	120
一、设计的概念	120
二、设计的特点	120
三、设计程序	120
第二节 电子产品设计的要求与方法	122
一、产品设计的要求	122
二、产品设计方法	123
第三节 电子产品的优化设计	126
一、优化设计	126
二、优化设计的基本步骤	126
三、优化设计的方法	126
第四节 电子产品的可靠性设计	127
一、可靠性的概念	127
二、可靠性定义	127

三、可靠性的度量指标	128
四、可靠性设计的原则	129
第五节 电路设计的内容与方法	130
一、电路设计的基本内容	131
二、电路设计的基本方法	131
第六节 电路设计的步骤	132
一、课题分析	132
二、设计方案论证	132
三、总体方案的选择	133
四、单元电路的设计	133
五、电子元器件的选用	134
六、电路的参数计算	135
七、实验	136
八、总电路图画法	137
九、审图	137
十、产品设计报告与使用说明书	138
第七节 分立元件电路设计举例	139
一、设计题目：电力系统大功率直流电源主电路的设计	139
二、主电路的设计	139
第八节 集成电路设计举例	142
一、设计题目：人体脉搏测量仪的设计	142
二、技术指标、内容及要求	142
三、脉搏测试仪概述	143
四、脉搏测试仪的单元电路设计与计算	144
五、脉搏测试仪的总体电路	149
六、脉搏测试仪的调试方法	150
七、脉搏测试仪的使用方法	150
八、脉搏测试仪的讨论	151
第六章 电子设计自动化技术及应用	152
第一节 电子设计自动化技术概述	152
一、电子设计自动化技术定义及特点	152
二、EDA 发展的三个阶段	152
三、EDA 技术的主要内容	153
四、EDA 软件系统的组成	153
五、EDA 的工程设计流程	153
六、EDA 技术应用前景	155
七、传统的电子电路设计方法与 EDA 技术	155
第二节 正弦信号发生器的设计	157
一、建立设计模型	157

二、Simulink 模型仿真	162
第三节 等精度频率计的设计	165
一、技术指标	165
二、测频原理	165
三、设计步骤	166
四、专用芯片各引脚功能说明	171
第七章 整机造型与商标设计	172
第一节 整机的造型设计	172
一、造型设计的作用	172
二、造型设计原则与程序	172
三、整机的造型设计要求	173
四、产品造型设计举例	173
第二节 面板的造型设计	175
一、面板造型设计要求	175
二、造型设计材质要求	175
第三节 电子产品的商标设计	176
一、商标的概念和作用	176
二、商标的设计	177
第八章 电子产品的制作	178
第一节 整机的结构与制作工艺	178
一、整机的结构与型式	178
二、使用要求	179
三、制作要求	179
四、机壳的制作	179
第二节 电子元器件的老化工艺	180
第三节 印制电路板的设计	180
第四节 印制电路板的制作	185
一、专业生产工艺	185
二、自制印制电路板的方法	186
第五节 元器件的插接与焊接工艺	187
一、元器件插接技术	187
二、焊接技术	189
第六节 电子产品的安装技术	193
一、电子电路安装布局的原则	193
二、电路板结构布局	194
第七节 整机装配技术	195
一、机械装配	196
二、整机连线 and 束线	197

第八节 电子产品的调试技术	197
一、调试前的准备工作	198
二、仪器、仪表的选择及其使用	198
三、对调试过程的要求	198
四、测量	199
五、调试的关键与方法	199
六、调试过程中常见故障	201
七、排除故障的程序与方法	201
第九节 分立元件电路的调试	202
一、静态工作点的调试	203
二、动态调试	203
第十节 集成运算放大电路的调试	205
一、集成运算放大器外接电阻的选择	205
二、集成运算放大电路的静态调试	206
三、集成运放的动态调试	207
四、调试注意事项	208
五、多级电路的调试	208
第十一节 电子产品的质量检验	208
第十二节 电子产品的干扰与抗干扰措施	211
一、干扰的产生及分类	211
二、抗干扰的措施	212
第十三节 电子产品的故障检查法	216
一、对电子产品维修人员的要求	216
二、电子产品的检修方法	217
附录	219
附录一 常用电阻的主要参数	219
附录二 常用电容的主要参数	219
附录三 常用二极管的型号、用途、性能参数	220
附录四 常用晶体三极管的型号、参数	222
附录五 中外晶体管置换表	225
附录六 74 系列 TTL 国内外型号对照表	226
附录七 常用运算放大器国内外型号对照表	227
附录八 常用 CMOS (CC4000 系列)	229
附录九 常用电子公司网址	230
附录十 常用电子工程手册	230
主要参考文献	232

第一章 电子产品常用元器件

电子元器件是构成电子产品的基本要素，元器件性能和质量的优劣，直接影响到产品的质量。在产品开发设计制作的整个过程中，熟悉常用元器件的主要参数、规格型号、性能指标、选用范围及使用规则是非常重要的。正确、合理地选择和使用电子元器件，是实现电路功能的关键。

本章重点放在：一是选择，二是使用。选择的依据是标准化、通用化和国产化，选择符合电路参数要求的合格元件；使用则是以科学的方法把选择的元器件应用到电路中去，实现设计电路的各项技术指标。

第一节 电子产品常用元器件的主要参数

电子元器件的主要参数包括特性参数、规格参数和质量参数。这些参数从不同角度反映电子元器件的电气性能及其完成功能的条件，它们是互相联系又互相制约的。

一、电子元器件的特性参数

特性参数描述电子器件在电路中的电气功能，通常用该元件的名称来表示，例如电阻特性、电容特性、二极管的伏安特性、三极管的输入及输出特性等。这些元件中分线性元件和非线性元件。在一般情况下，线性元件的阻值是一个常量，不随外加电压的大小而变化，符合欧姆定律，大多数常用电阻属于这一类（热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻属于非线性电阻）非线性元件的阻值不是常量，如半导体元件的伏安特性曲线随外加电压或某些非电量的变化而变化，不符合欧姆定律。

需要说明的是，人们常说的线性元件，它们的伏安特性不一定是直线（电容充放电），而非线性元件的伏安特性也不一定是曲线。例如，某些放大器叫做线性放大器，是指输出信号 Y 与输入信号 X 之比，其函数关系

$$Y=kX$$

其放大倍数在一定工作条件下为一常量。不同种类电子元件具有不同的特性参数，可根据电路的实际需要选用之。

二、标称值与标称值系列

电子元件在生产过程中，不可避免存在数值的离散性，为了便于大批量生产，又能满足使用者在一定范围选用合适电子元器件的需求，规定一系列的数值作为产品的标准值，称为

标称值。

电子元器件的标称值分为特性标称值和尺寸标称值，分别用于描述它的电气功能和机械结构。例如，一只电阻器的特性标称值包括阻值、额定功率、精度等，尺寸标称值包括电阻体及引线的直径、长度等。

一组有序排列的标称值叫做标称值系列。

元件的特性数值标称系列大多为两位有效数字（精密元件的特性数值一般是三位或四位有效数字）。电子元器件的标称值应符合系列规定的数值，并用系列数值乘以倍率来表示一个元件的参数。

在机械设计中规定了长度尺寸标称值系列，并且分为首选系列和可选系列（也叫第一系列、第二系列）。对元件的外形尺寸也规定了标准系列。例如，元器件的封装外壳可分为圆形、扁平型、双列直插型等几个系列；元件的引线有轴向和径向两个系列等。又如，大多数小功率元器件的引线直径标称值为 0.5 mm 或 0.6 mm，双列和单列直插式集成电路的引脚间距一般是 2.54 mm 或 5.08 mm 等。在使用元器件时，不仅要考虑它的电气功能是否符合要求，还要考虑其外形尺寸是否规范、是否符合标准。

三、允许偏差和精度等级

市场上销售的元器件，由于生产工艺的原因，其数值不可能与标称值完全一样，总会有一定的偏差。一般用百分数表示的实际数值和标称数值的相对偏差，反映了元器件的精密程度。在实际应用中为这些实际数值规定了一个可以接受的范围，即为相对偏差规定了允许的最大范围，叫做数值的允许偏差（简称允差）。不同的允许偏差也叫做数值的精度等级（简称精度）。例如，常用电阻的允许偏差有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 三种，分别用 J、K、M 标志它们的精度等级。精密电阻的允许偏差有 $\pm 2\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 0.5\%$ ，分别用 G、F、D 标志精度等级。

精度等级越高，其数值允许的偏差范围越小，元器件就越精密；同时，它的生产成本及销售价格也越高。在设计电路选择元件的过程中，应根据实际电路的要求，合理选用不同精度等级的电子元器件。

四、额定值和极限值

电子元器件在工作时，要受到电压、电流的作用，要消耗功率。电压过高，会使元器件的绝缘材料被击穿；电流过大，会引起消耗功率过大而发热，导致元器件被烧坏。为此，规定了元器件的额定值，并定义为：电子元器件能够长期工作的最大电压、电流、功率消耗值和环境温度。另外，还规定了电子元器件的工作极限值，即最大值，表示元器件能够保证正常工作的最大限度。额定值的最大值和极限值是不相等的。

需要说明几点：

元器件额定值与极限值并不相等。

元器件的各个额定值或极限值之间没有固定的关系，等功耗规律并不成立。

当电子元器件的工作条件超过某一额定值时，其他参数指标就要相应降低。

对于不同种类元器件，根据元器件自身的特点和需要定义额定值和极限值。例如，同是工作电压上限，电阻器是按最大工作电压定义的，而电容器是按额定电压来定义的。

除上述参数外，对于特征频率 f_T ，截止频率 f_a 、 f_b ，线性集成电路的开环放大倍数 K_o ，数字集成电路的扇出系数 N_o 等参数，在选用元器件时，也应该予以考虑。

五、电子元器件的质量参数

元器件的质量参数有温度系数、噪声电动势、高频特性、可靠性等。从整机制造工艺方面考虑，主要有机械强度和可焊性。

1. 温度系数

温度每变化 1°C ，电子元器件的规格参数数值产生的相对变化叫做温度系数，单位为 $1/\%$ 。温度系数描述了元器件在环境温度变化条件下的特性参数的稳定性。温度系数越小，说明它的数值越稳定。温度系数有正、负之分，分别表示当环境温度升高时，元器件数值变化的趋势是增加还是减小。温度系数取决于它们的制造材料、结构和生产条件等因素。

在设计那些要求长期稳定工作或工作环境温度变化较大的电子产品时，尽可能选用温度系数较小的元器件，也可以根据工作条件考虑产品的通风、降温，以便采取相应的恒温措施。

2. 噪声电动势和噪声系数

噪声分外部噪声和内部噪声。从设备外部来的，如雷电干扰、宇宙干扰和工业干扰等有害信号为外部噪声；从机内产生的，如收音机发出的“沙沙”声、电视机屏幕上出现雨雾状的斑点等，这类噪声叫做内部噪声。内部噪声主要由各种电子元器件产生。在一般情况下，有用信号比内部噪声大的多，噪声产生的有害影响很小，可以不予考虑。当有用信号非常微弱时，噪声就可能把有用信号“淹没”掉，其有害作用不可忽视。

导体内的自由电子在一定温度下总是处于“无规则”的热运动状态之中，从而在导体内部形成了方向及大小都随时间不断变化的“无规则”电流，并在导体的等效电阻两端产生了噪声电动势。噪声电动势是随机变化的，在很宽的频率范围内起作用。

通常用信噪比来描述电阻、电容、电感这类无源器件的噪声指标。信噪比定义为元件两端的外加信号功率与其内部产生的噪声功率之比，即

$$\text{信噪比} = \text{外加信号功率} / \text{噪声功率}$$

对于晶体管或集成电路这一类有源器件的噪声，则用噪声系数来衡量：

$$\text{噪声系数} = \text{输入端信噪比} / \text{输出端信噪比}$$

噪声指标是一项重要的质量参数。在设计高增益放大器时，应尽量采用低噪声的电子元件。

3. 高频特性

当工作频率不同时，电子元器件会表现出不同的电路响应，这是由制造元器件时所使用的材料及工艺结构决定的。元器件工作在高频状态下，将表征出电抗特性，即使一段很短的导线，其电感、电容也会对电路的频率响应产生不可忽略的影响。这种性质，称为元器件的高频特性。在设计制作高频电路时，必须考虑元器件的频率响应，选择那些高频特性较好，分布电容、分布电感较小的元器件。

4. 机械强度和可焊性

人们希望电子设备工作在无振动、无机械冲击的理想环境中，然而事实上设备的振动和冲击是无法避免的。如选用的元器件的机械强度不高，就会在振动时发生断裂，造成损坏，使电子设备失效。常见的机械性故障表现为：电阻器的陶瓷骨架断裂、电阻体两端的金属帽脱落、电容体开裂、各种元器件的引线折断、开焊等。

电子元器件的机械强度是重要的质量参数之一。在设计制作电子产品时，应该选用机械强度高的元器件，并从整体结构方面考虑抗振动、耐冲击的措施。

元器件引线的可焊性也是主要工艺质量参数之一。“虚焊”是引起整机失效的常见故障。为减少虚焊，操作者要不断练习，提高焊接技术水平，积累发现虚焊点的经验，选用那些可焊性良好的元器件。

5. 可靠性和失效率

可靠性是指元器件的有效工作寿命，即它能够正常完成某一特定电气功能的时间。

电子元器件的工作寿命结束，叫做失效，失效是随时间的推移、工作环境的变化，元器件的规格参数从“量变到质变”而产生的。

度量电子产品可靠性的基本参数是时间，即用有效工作寿命的长短来评价它的可靠性。电子元器件的可靠性用失效率来表示。即

$$\text{失效率 } \lambda(t) = \frac{\text{失效数}}{\text{运用总数} \times \text{运用时间}}$$

失效率的常用单位是“菲特”(fit)，1 菲特 = 10^{-9} /小时。即一百万元器件运用一千小时，每发生一次失效，就叫做 1 “菲特”。失效率越低，说明元器件的可靠性越高。

第二节 电阻器、电容器与电感器的选用

一、电阻器

1. 电阻器的分类

电阻器的种类有很多，这里仅介绍碳膜电阻器和金属膜电阻器。常见电阻器外形如图 1.1 所示。

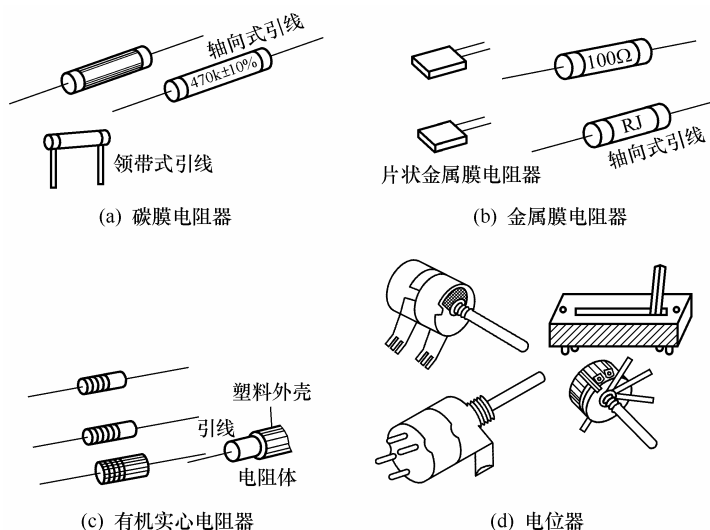


图 1.1 常见电阻器外形

(1) 碳膜电阻器

碳膜电阻器的阻值范围为 $0.75 \Omega \sim 10 \text{ M}\Omega$ ，额定功率有 0.1 W、0.125 W、0.25 W、0.5 W、1 W、2 W、5 W、10 W 等，少数做成 25 W、50 W、100 W。

碳膜电阻器温度系数较小、稳定性好、运用频率高、价格较便宜，广泛应用于直流、交流和脉冲电路中。

(2) 金属膜电阻器

与碳膜电阻器相比，金属膜电阻器耐热特性及阻值的稳定性较好，温度系数小，潮湿系数小，噪声小，可工作于 120 的温度条件，且体积小。它的阻值范围为 1 O ~ 600 MO，精度可达 0.5%，额定功率一般不超过 2 W。

2．电阻器的标称值

固定电阻器阻值的大小，不是无穷多个连续数值，而是按一定规律制造的，产品出厂时给定的值，称为标称值，它标示在电阻器上。

电阻标称值的表示方法有直接表示法和间接表示法。电阻标称值的直接表示方法，把电阻值直接标出，如表 1.1 所示。

表 1.1 电阻的文字符号及其标称值

文 字 符 号	电阻标称值	文 字 符 号	电阻标称值
R10	0.1 O	10k	10 kO
R232	0.232 O	33k2	33.2 kO
1R0	1 O	1M0	1 MO
3R32	3.32 O	33M2	33.2 MO

电阻标称值的间接表示法，采用色环表示电阻的大小和允许误差。在电阻器上一般涂有四个色环，偏向电阻器的一端。如果电阻体积较小，色环均匀分部，由误差色环来区分首尾。两位有效数字的色环如图 1.2 所示，色环第一圈 A 表示电阻值的最高位数字，第二圈 B 表示电阻值的第二位数字，第三圈 C 表示再乘以 10^C，第四圈 D 表示阻值的允许误差。三位有效数字的色环如图 1.3 所示，色环第一圈 A 表示电阻值的最高位数字，第二圈 B 表示电阻值的第二位有效数字，第三圈 C 表示电阻值的第三位有效数字，第四圈 D 表示再乘以 10^D，第五圈 E 表示阻值的允许误差。电阻的单位为欧姆 (O)。

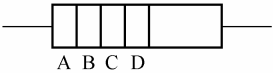


图 1.2 四色环电阻



图 1.3 五色环电阻

色环颜色的表示值如表 1.2 所示。

表 1.2 电阻色环颜色的表示值

颜色	有效数字	乘数	允许误差 (%)	颜色	有效数字	乘数	允许误差 (%)
银色		10 ⁻²	±10	绿色	5	10 ⁵	±0.5
金色		10 ⁻¹	—	蓝色	6	10 ⁶	±0.25
黑色	0	10 ⁰	—	紫色	7	10 ⁷	±0.1
棕色	1	10 ¹	±1	灰色	8	10 ⁸	—
红色	2	10 ²	—	白色	9	10 ⁹	±50
橙色	3	10 ³	—				
黄色	4	10 ⁴	—				

例如，四个色环分别为：红（第一位数）、紫（第二位数）、橙（乘数）、金（允许误差），则电阻值为 $R=(2 \times 10+7) \times 10^3 \pm 5 \%(O)=27 \pm 5 \%(kO)$ 。

若五个色环分别为：橙（第一位数）、橙（第二位数）、红（第三位数）、棕（乘数）、蓝（允许误差），则电阻值为 $R=(3 \times 100+3 \times 10+2) \times 10^1 \pm 0.25 \%(O)=3.320 \pm 0.25 \%(kO)$ 。

3．额定功率

电阻器的额定功率，是指在长期连续负荷而不损坏或基本不改变性能的情况下，在电阻器上允许消耗的最大功率。当超过额定功率时，电阻器的阻值会发生改变，严重时还会烧坏。

普通电阻器的额定功率随电阻尺寸的增大而增大。额定功率为 0.05 ~ 2 W 的一般不标出而大功率电阻器的额定功率往往直接标在电阻器上。

二、电容器

1．电容量的单位

电容器的容量单位是法拉(F)。由于此单位太大，实际上经常使用的单位及换算关系为微法(μF)， $1\ \mu\text{F}=10^{-6}\ \text{F}$ ；纳法(nF)， $1\ \text{nF}=10^{-9}\ \text{F}$ ；皮法(pF)， $1\ \text{pF}=10^{-12}\ \text{F}$ 。

2．电容器的分类

按电容器的容量是否可调，将其分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器。图 1.4 所示为常用固定电容器的外形及图形符号。

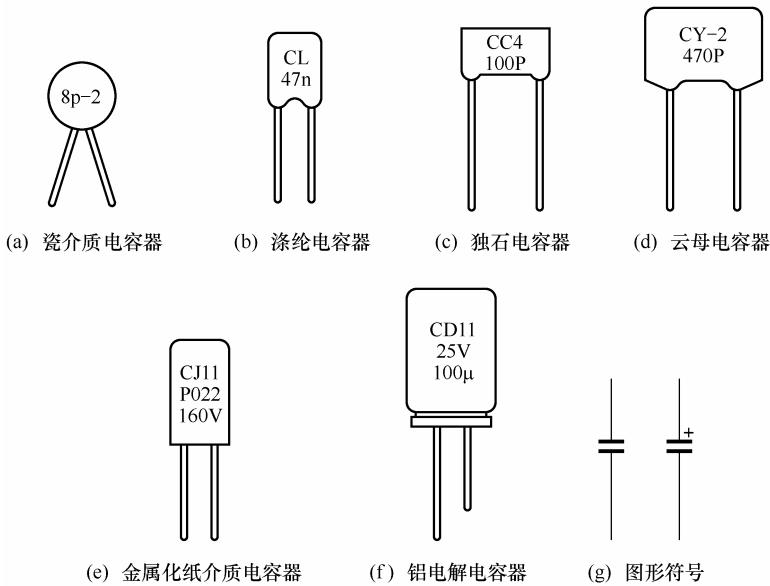


图 1.4 常用固定电容器的外形及图形符号

图 1.5 所示为常用半可变电容器的外形及图形符号。半可变电容器又称微调电容器或补偿电容器。其特点是容量可在小范围内变化，通常在几皮法到几十皮法。

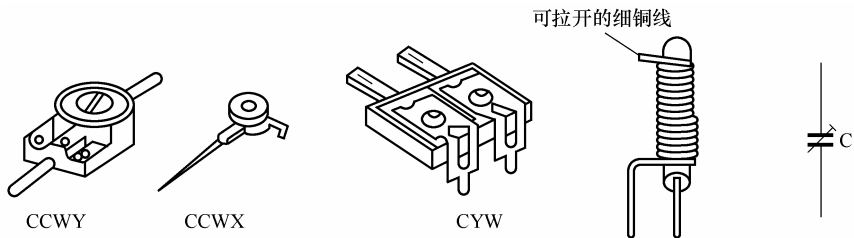


图 1.5 常用半可变电容器的外形及图形符号

图 1.6 所示为可变电容器的外形及图形符号。可变电容器的容量可在一定范围内连续变化,它由若干片形状相同的金属片并接成一组(或几组)定片和一组(或几组)动片。动片可以通过转轴转动,以改变动片插入定片的面积,从而改变电容量。可变电容器分为“单联”、“双联”和“三联”。

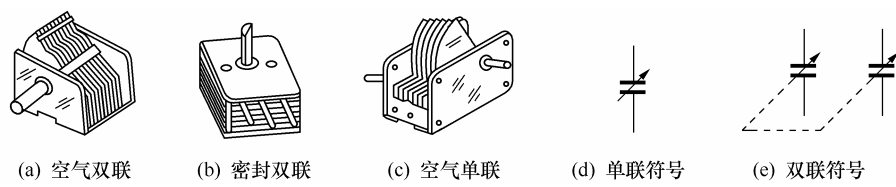


图 1.6 可变电容器的外形及图形符号

按电容器的介质材料可将其分为云母电容器、瓷介电容器、电解电容器等。

(1) 云母电容器

云母电容器以云母作介质,具有很高的绝缘性能,即使在高频时,其介质损耗也极小。因其固有电感小,使用频率可很高。其稳定性良好,耐压也高,应用极广。但其容量一般不大,通常在 $10 \sim 51\,000\text{ pF}$ 。

(2) 瓷介电容器

瓷介电容器是以高介电常数、低损耗的陶瓷材料为介质做成的管状或圆片状电容器。其主要优点是损耗和固有电感极小,可工作至高频范围,耐热性好,稳定性高,温度系数的大小和正负在制作中可以控制。

瓷介电容器的容量一般为 $1 \sim 1\,000\text{ pF}$ 。而高介电常数的铁电陶瓷、独石电容器容量较大,可达几微法,但其温度系数大,容量误差大,损耗大,只能在要求不高的场合作旁路滤波电容用。

(3) 纸介电容器

纸介电容器的优点是在一定体积内可得到较大的电容量,构造简单,造价低;缺点是稳定性不高,介质损耗大,固有电感也较大。它主要用作低频电路的旁路和隔直电容器。

(4) 电解电容器

电解电容器是有极性的,在其外壳上标明“+”或“-”两个极性,正极接直流高电位,负极接直流低电位,千万不能接错,否则,电解作用反向进行,氧化膜会很快变薄而被破坏,漏电增大,造成电容器发热损坏甚至爆炸。由新工艺制成的无极性电容不存在此问题。

电解电容器的优点是容量大,体积小;缺点是误差大,容量随工作频率而变,温度稳定性和时间稳定性较差,绝缘电阻低,工作电压不高,一般只用作低频滤波和去耦旁路电容。而钽、铌或钛电解电容器的漏电小、体积小、工作温度高,但价格也高。

3. 电容器的标称容量

固定式纸介电容器、金属化纸介电容器、低频有机薄膜纸介电容器的标称容量如表 1.3 所示,表中标称容量小于或等于 $1\mu\text{F}$ 者,应将表中数值乘以 10^n ,其中 n 为整数。

表 1.3 几种纸介电容器的标称容量

容量范围	100 pF ~ 1 μF			1 ~ 100 μF						
标称容量系列	1.0	1.5	2.2	1	2	4	6	8	10	15
	3.3	4.7	6.8	20	30	50	60	80	100	