

电子设计系列丛书

ELECTRONIC
DESIGN
RACE



电子设计竞赛实训教程

张华林 周小方 编著



北京航空航天大学出版社

电子设计系列丛书

电子设计竞赛实训教程

张华林 周小方 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从工程应用出发,介绍了电子设计工艺、基本单元电路设计、PIC 单片机集成开发环境和在线调试器、PIC 单片机专项训练、专用芯片的原理与应用以及综合设计实例等内容。

书中介绍的应用电路力求简单实用,设计的程序全部调试通过,绝大部分程序经过实际工程应用的检验。书中的综合设计实例均来源于实际工程项目,各实例均按实际工程应用原样给出设计流程图和汇编语言程序清单,对单片机设计人员有很好的参考价值。

本书可作为电子设计竞赛参赛人员的培训资料,亦可作为电子设计工作者、大中专院校学生课程设计与毕业设计、PIC 单片机开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子设计竞赛实训教程/张华林,周小方编著.

北京:北京航空航天大学出版社,2007.7

ISBN 978-7-81124-210-2

I. 大… II. ①张…②周… III. 电子电路-电路设计-高等学校-教材 IV. TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 092705 号

电子设计竞赛实训教程

张华林 周小方 编著

责任编辑 王慕冰 朱胜军

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100083) 发行部电话 010-82317024 传真 010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn> E-mail bhpress@263.net

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:21 字数:470 千字

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 978-7-81124-210-2 定价:33.00 元

前 言

全国大学生电子设计竞赛是在 1993 年由原国家教委和电子工业部联合倡导举办的,是高校四大科技竞赛之一,得到各高校和广大学生朋友的热烈响应,举办规模日益扩大。这一赛事对提高各高校的办学水平和学生综合素质有切实的帮助。为了帮助广大学生朋友更好地参加比赛,特地编写本书。

本书内容实用、工程性强,注重培养学生的综合分析、制作调试和开发创新能力。本书不仅可作为大学生电子设计竞赛的培训用书,也可作为课外电子制作、课程设计、毕业设计的参考书,也可作为广大电子工程技术人员进行电子电路设计与制作的参考书。

本书以大学生电子设计竞赛所需的知识点为基础,叙述简洁,内容较丰富。全书共分 6 章。第 1 章介绍电子工艺基础,即电子设计竞赛和从事电子设计人员必备的基本工艺技能,主要内容包括常用器件识别、PCB 板设计、PCB 板手工制作、焊接工艺等内容。第 2 章介绍常用的基本单元电路,深入掌握这些基本单元电路,能帮助电子设计者尽快设计出符合要求的硬件电路。本着简单实用的原则,本章介绍了电源电路、驱动电路、运放电路、信号产生电路、信号处理电路、传感器应用电路、竞赛论文写作等内容。在电子设计竞赛和电子产品设计过程中,往往需要用单片机实现比较复杂的控制和运算。在单片机开发的过程中,若有一个集成的开发环境对整个项目进行综合的管理,对提高项目的开发速度和质量有积极的帮助。因此,第 3 章介绍 PIC 单片机的集成开发环境 MPLAB IDE 的使用,以及廉价的 PIC 单片机实时调试器和编程器 MPLAB ICD2 的使用。第 4 章是单片机专项训练。在电子设计竞赛和许许多多的电子产品设计中,单片机往往是系统的核心,大部分的控制和处理都可以由单片机完成。本书介绍的单片机采用美国 Microchip 公司推出的高性价比的 8 位 PIC 系列单片机。该系列单片机采用 RISC 精简指令集、哈佛总线结构及二级流水线取指方式,具有片内资源丰富、低价实用、简单易学等特点。内容包括单片机最小系统的设计、A/D 转换、D/A 转换、按键处理、显示处理、I²C 通信、PWM 处理、系统程序设计、软件抗干扰处理等内容。第 5 章介绍在电子设计竞赛和电子工程项目设计中常用的一些专用芯片。为提高竞赛速度或项目设计速度,有必要掌握一些常见专用芯片的原理与应用。这主要有 MCP41/42 系列数字电位器、实时时钟芯片 DS1302、开关电源控制芯片 MC34063 和 TL494、LCD 显示驱动、LED 显示驱动、锁相环芯片 LM567、信号产生芯片 ICL8038、步进电机驱动等内容的原理与应用。第 6 章介绍几个工程设

前 言

计实例。综合设计练习能训练参赛选手和电子设计工作者的系统设计能力,以及按指标要求设计能力并强化工程概念。本章第1节介绍整机调试的常用方法和应遵循的原则,后4节分别介绍喷料机的设计、三相电机保护器的设计、氩弧焊机的设计和报警器的设计,这几个设计实例均来源于实际工程项目,软硬件全部调试通过,书中的软硬件均照工程应用的原样给出。

全书由张华林统稿。周小方教授完成4.1~4.7节及6.3~6.5节,其他章节由张华林完成。郭海燕、白炳良两位高级实验师提供了部分材料。赵丽霞、林达明、李拱峰三位同志负责校对了部分书稿。刘玮玲、刘玮珍、郑丽梅三位同志负责录入了全书的文字和绘制部分插图。刘昶荣、许志勇两位同志也为本书的出版作了许多有益的工作。北京航空航天大学出版社对本书的出版给予了特别的关心和支持。福州贝能科技有限公司在产品资料和开发工具等方面给予了大力支持。在此向他们一并表示衷心的感谢。

在本书编写的过程中,参考了大量的资料,在此向这些作者们致以衷心的感谢。

限于作者的水平和时间仓促,书中难免有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正。

作 者

2007.4

目 录

第 1 章 电子工艺基础

1.1 常用器件识别	1
1.1.1 电 阻	1
1.1.2 电 容 器	3
1.1.3 电感器	5
1.1.4 半导体二极管	6
1.1.5 半导体三极管	7
1.1.6 集成电路	10
1.1.7 表面贴装元器件	11
1.2 PCB 板的设计	12
1.2.1 PCB 板的全手工设计步骤	12
1.2.2 PCB 板的半自动化设计步骤	13
1.2.3 PCB 板设计的注意事项	13
1.2.4 PCB 板设计存在的问题	14
1.2.5 实 训	17
1.3 手工制作单面 PCB 板	20
1.3.1 打 印	20
1.3.2 转 印	20
1.3.3 腐 蚀	21
1.3.4 钻 孔	21
1.3.5 清洁板面	21
1.3.6 上助焊剂	21
1.3.7 实 训	21
1.4 焊接工艺	21
1.4.1 焊接基础知识	21

目 录

1.4.2	电烙铁的使用及维护	22
1.4.3	焊料与焊剂的选用	24
1.4.4	电烙铁钎焊要领	25
1.4.5	两种焊接实践	27
1.4.6	拆 焊	29
1.4.7	实 训	30

第 2 章 基本单元电路

2.1	电源电路	31
2.1.1	桥式整流滤波电路	31
2.1.2	单路固定稳压电源——78xx 三端稳压电路	31
2.1.3	双路固定稳压电源	32
2.1.4	单路可调三端稳压电源	33
2.1.5	系统电源配置举例	34
2.1.6	基准电压源电路	35
2.1.7	恒流源电路	36
2.1.8	升压与反极性(电荷泵)电路	36
2.2	驱动电路	38
2.2.1	发光二极管驱动	38
2.2.2	继电器驱动	39
2.2.3	数码管静态驱动	40
2.2.4	可控硅驱动	41
2.2.5	光耦合驱动	42
2.2.6	直流电机调速驱动	43
2.2.7	功率管驱动直流电机正反转	43
2.2.8	继电器驱动直流电机正反转	45
2.2.9	N 沟道 MOS 管驱动	46
2.2.10	驱动芯片 ULN2003 的原理与应用	46
2.2.11	音频功率放大芯片 LM386 的原理与应用	47
2.3	运算放大电路	48
2.3.1	运算放大器的分类	48
2.3.2	反相输入比例运算电路	49
2.3.3	同相输入比例运算电路	50
2.3.4	反相输入比例求和电路	50

2.3.5	差动放大电路	50
2.3.6	积分运算电路	50
2.3.7	微分电路	51
2.3.8	单电源供电同相交流放大器	51
2.3.9	单电源供电反相交流放大器	52
2.3.10	运放的选用	52
2.3.11	实 训	53
2.4	信号产生电路	53
2.4.1	由 555 构成的矩形波信号产生电路	53
2.4.2	由石英晶体构成的矩形波信号产生电路	53
2.4.3	由运放构成的正弦波产生电路	55
2.4.4	由运放构成的方波、三角波产生电路	55
2.4.5	由单片机构成的信号产生电路	55
2.4.6	实 训	56
2.5	信号处理电路	57
2.5.1	V/I 转换电路	57
2.5.2	I/V 转换电路	57
2.5.3	LM331 构成的 V/F 转换电路	57
2.5.4	LM331 构成的 F/V 转换电路	58
2.5.5	二阶有源低通滤波器	59
2.5.6	二阶有源高通滤波器	59
2.5.7	实 训	60
2.6	传感器的原理与应用	60
2.6.1	传感器简介	60
2.6.2	铂电阻温度传感器	61
2.6.3	热敏电阻温度传感器	62
2.6.4	集成温度传感器 AD590 的原理及其应用	63
2.6.5	集成温度传感器 DS18B20 的原理与应用	64
2.6.6	湿度传感器 HM1500 的原理与应用	65
2.6.7	气体压力传感器 MPX5700 的原理与应用	66
2.6.8	光敏电阻的原理与应用	67
2.6.9	霍尔元件及其应用	67
2.6.10	实 训	68

目 录

2.7 设计报告写作	68
2.7.1 设计总结报告的评分标准分析	68
2.7.2 设计总结报告的内容、要求与应注意的一些问题	69

第3章 MPLAB IDE 和 MPLAB ICD2

3.1 MPLAB 项目管理器介绍	73
3.1.1 MPLAB 的组成	73
3.1.2 MPLAB 的系统要求	74
3.1.3 MPLAB 的安装与卸载	74
3.1.4 MPLAB 的启动	75
3.1.5 MPLAB 菜单命令	75
3.2 MPLAB IDE 的使用	89
3.2.1 MPLAB IDE 的功能	89
3.2.2 编辑源代码	90
3.2.3 创建工程项目	91
3.2.4 编译项目	91
3.2.5 运行模拟器	92
3.2.6 调试应用程序	92
3.2.7 烧写芯片	94
3.2.8 用模拟器的高级特性进行调试	95
3.2.9 配置工作区和项目调试设置	95
3.3 在线调试器 MPLAB ICD2	96
3.3.1 MPLAB ICD2 概述	96
3.3.2 MPLAB ICD2 基于 WINDOWS XP 的 USB 安装	97
3.3.3 MPLAB ICD2 的接口设计	98
3.3.4 MPLAB ICD2 的调试模式	99
3.3.5 MPLAB ICD2 的编程器模式	101
3.3.6 MPLAB ICD2 调试工程项目	101

第4章 PIC 单片机专项训练

4.1 单片机最小系统硬件设计	105
4.1.1 最小系统总体结构	105
4.1.2 电源电路	108
4.1.3 基准电压电路	108

4.1.4	12 位 A/D 转换接口电路	110
4.1.5	12 位 D/A 转换器接口电路	110
4.1.6	RS-232 通信接口电路	110
4.1.7	按键显示电路	111
4.1.8	实 训	111
4.2	按键电路	112
4.2.1	简单按键电路	112
4.2.2	矩阵按键电路	113
4.3	显示电路	118
4.3.1	简单 LED 显示电路	118
4.3.2	矩阵 LED 驱动	119
4.3.3	PIC 单片机直接驱动数码管显示	120
4.3.4	外扩驱动数码管显示	120
4.3.5	LED 和数码管共同显示	121
4.4	A/D 转换	124
4.4.1	PIC 单片机内部 A/D 转换模块	124
4.4.2	MCP3202 实现 12 位 A/D 转换	127
4.5	D/A 转换	131
4.6	系统程序设计	135
4.6.1	系统功能	135
4.6.2	系统程序流程图	136
4.6.3	按键子程序	137
4.6.4	二进制码转换为压缩 BCD 码	137
4.6.5	显示器扫描子程序	138
4.6.6	二进制乘法	139
4.6.7	二进制除法	139
4.6.8	系统程序清单	139
4.6.9	实 训	168
4.7	I ² C 总线	168
4.7.1	I ² C 总线概述	168
4.7.2	I ² C 总线数据传送	169
4.7.3	I ² C 总线与 EEPROM 的操作	171
4.8	PWM 信号产生	177
4.9	常用 PIC 单片机子程序	179

目 录

4.9.1	双字节无符号数加法	179
4.9.2	双字节无符号数减法	179
4.9.3	单字节无符号数乘法	180
4.9.4	双字节无符号数乘法	180
4.9.5	单字节无符号数除法	181
4.9.6	双字节无符号数除法	182
4.9.7	单字节二进制数转为 8421BCD 码	183
4.10	软件抗干扰	184
4.10.1	单片机应用系统软件的基本要求	184
4.10.2	软件冗余	185
4.10.3	软件陷阱	186
4.10.4	故障自动恢复处理	187
4.10.5	数字滤波	187
4.10.6	干扰避开法	189

第 5 章 专用芯片的原理与应用

5.1	MCP41/42 系列数字电位器的原理及程序设计	190
5.1.1	MCP41/42 系列数字电位器的原理和结构	190
5.1.2	MCP41/42 系列数字电位器使用时应注意的问题	193
5.1.3	MCP41/42 系列数字电位器在超声洁牙机中的应用	193
5.1.4	MCP41/42 系列数字电位器在运放中的应用	195
5.1.5	实训:数控运放	195
5.2	DS1302 的原理及程序设计	196
5.2.1	DS1302 的结构及工作原理	196
5.2.2	DS1302 程序设计的注意事项	199
5.2.3	DS1302 在脉动真空灭菌器中的应用	199
5.2.4	实训:基于 DS1302 的万年历	202
5.3	MC34063 的原理与应用	204
5.3.1	MC34063 概述	204
5.3.2	MC34063 构成升压电源	204
5.3.3	MC34063 构成降压电源	205
5.3.4	MC34063 构成负压电源	206
5.3.5	实训:由 MC34063 构成降压可调开关稳压电源	207

目 录

5.4 LCD 显示模块的原理与程序设计	207
5.4.1 YDS 液晶显示模块概述	208
5.4.2 显示模块串行传送数据	209
5.4.3 用户指令	210
5.4.4 液晶显示模块的汉字显示	212
5.4.5 使用本模块的注意事项	216
5.4.6 实训:液晶显示模块 YDS12864 的应用	216
5.5 MAX7221 的原理与应用	217
5.5.1 概 述	217
5.5.2 MAX7221 功能简介	218
5.5.3 MAX7221 与 PIC 单片机的连接	222
5.6 TL494 的原理及其应用	222
5.6.1 TL494 的内部结构及其工作原理	222
5.6.2 宽输入范围的开关稳压电源	224
5.6.3 实训:由 TL494 控制的带软启动的开关电源	226
5.7 LM567 的原理与应用	227
5.7.1 LM567 的内部结构及其工作原理	228
5.7.2 LM567 环路带宽的设定	229
5.7.3 LM567 在自动洗手器中的应用	229
5.7.4 实训:红外发射接收电路	230
5.8 ICL8038 的原理与应用	231
5.8.1 ICL8038 的内部结构和工作原理	231
5.8.2 ICL8038 构成的函数信号发生器	232
5.8.3 ICL8038 构成的扫频源	232
5.8.4 实训:基于 ICL8038 的函数信号发生器的设计	234
5.9 步进电机及其驱动	234
5.9.1 步进电机概述	234
5.9.2 反应式步进电机的工作原理	235
5.9.3 步进电机的选用	236
5.9.4 步进电机驱动芯片 L298	238
5.9.5 步进电机驱动电路	240

第 6 章 综合设计训练举例

6.1 整机调试的方法和原则	241
6.1.1 整机调试的步骤	241

目 录

6.1.2	常用的电路故障排查方法	242
6.1.3	更换元器件	243
6.2	自动喷料机的设计	244
6.2.1	自动喷料机的设计背景及要求	244
6.2.2	自动喷料机的参考硬件设计	244
6.2.3	自动喷料机的参考程序设计	247
6.3	三相电机保护器的设计	261
6.3.1	三相电机保护器的设计背景及要求	261
6.3.2	三相电机保护器的参考硬件设计	262
6.3.3	三相电机保护器的参考程序设计	266
6.4	晶闸管式氩弧焊机的设计	282
6.4.1	氩弧焊机控制器的设计要求	282
6.4.2	氩弧焊机控制器的参考硬件设计	283
6.4.3	氩弧焊机控制器的参考软件设计	284
6.5	无线电话报警系统的设计	301
6.5.1	无线电话报警系统的设计背景与要求	301
6.5.2	报警系统后备电源的参考设计	302
6.5.3	报警系统主电路硬件参考设计	313
6.5.4	报警系统主电路软件参考设计	317
参考文献		321

第 1 章

电子工艺基础

本章介绍参加电子设计竞赛和从事电子设计人员必备的基本工艺技能。熟练掌握这些基本技能,对提高电子设计的速度和设计作品的可靠性很有帮助。本章将介绍器件识别、PCB 板设计、PCB 板手工制作和焊接工艺等内容。

1.1 常用器件识别

1.1.1 电 阻

电阻在电子线路、电子产品中应用广泛,主要用来完成降压、分压、限流、分流、滤波、阻抗匹配等作用。其常用的制造材料是碳膜、合成膜、金属膜、氧化膜、线绕等。

1. 电阻的性能指标

电阻参数通常用直接标注法和色环标注法表示。直接标注法是将电阻的阻值、功率、误差等级等直接标注在电阻器件上,该方法直观明了。色环标注法是将电阻阻值和误差等级信息用色环方式标注在电阻器件上,如图 1.1 所示。读数时应注意哪一环是第一环,哪一环是最后一环。判断方法是第一色环最靠近电阻的边缘。四色环普通电阻各色环颜色所代表的数值和误差等级如表 1.1 所列。五色环精密电阻各色环颜色所代表的数值和误差等级如表 1.2 所列。例如某一电阻四色环颜色分别为棕、红、红、金,则该电阻阻值为 $12 \times 10^2 = 1.2 \text{ k}\Omega$,误差等级为 $\pm 5\%$;又如某一精密电阻五色环颜色分别为黄、紫、黑、棕、棕,则该电阻阻值为 $470 \times 10^1 = 4.7 \text{ k}\Omega$,误差等级为 $\pm 1\%$ 。

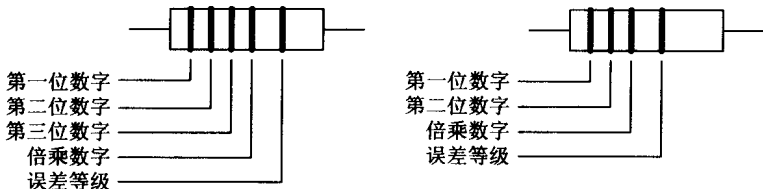


图 1.1 色环标注法

第1章 电子工艺基础

表 1.1 普通电阻色环标注法

颜 色	第一色环 第一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 倍率	第四色环 误差等级/%
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}	±5
银	—	—	10^{-2}	±10
本色	—	—	—	±20

表 1.2 精密电阻色环标注法

颜 色	第一色环 第一位数字	第二色环 第二位数字	第三色环 第三位数字	第四色环 倍率	第五色环 误差等级/%
黑	0	0	0	10^0	—
棕	1	1	1	10^1	±1
红	2	2	2	10^2	±2
橙	3	3	3	10^3	—
黄	4	4	4	10^4	—
绿	5	5	5	10^5	±0.5
蓝	6	6	6	10^6	±0.25
紫	7	7	7	10^7	±0.1
灰	8	8	8	10^8	—
白	9	9	9	10^9	—
金	—	—	—	10^{-1}	±5
银	—	—	—	10^{-2}	—

电阻标称阻值是不连续分布的。常见的标称阻值有 E6、E12、E24 系列，如表 1.3 所列。将表 1.3 中的数值乘以 10^n ，可得到不同阻值的电阻。

表 1.3 电阻阻值标称系列

系 列	允许误差/%	标称阻值												精度等级
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	I
		3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1	
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	II
E6	±20	1.0	1.5	2.2	3.3	4.7	6.8							III

电阻的标称功率是在环境温度为 25°C 时长期连续工作而不改变其性能的最大允许功率。常见的标称功率有 $1/8\text{ W}$ 、 $1/4\text{ W}$ 、 $1/2\text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 、 3 W 、 5 W 、 7 W 、 10 W 等。标称功率为 3 W 以上的电阻一般把功率直接标在电阻上, 2 W 以下可由电阻的大小判断其标称功率。在选择电阻标称功率时, 一般根据具体电路降额使用, 一般取 $0.3\sim 0.5$ 倍。如某一电阻在电路中的实际承受功率为 1 W , 则选用电阻时其标称功率应为 2 W 或 3 W 。

不同材质的电阻器性能特点也不同。碳膜电阻价位低、高频特性好, 但精度差, 在电子产品中应用广泛; 金属膜电阻耐高温、精度较高、高频特性好, 但价位比碳膜电阻稍高, 在仪器仪表等高档设备中应用广泛; 线绕电阻耐高温、精度高、噪声小、功率大, 但高频特性差。

2. 电阻的代换

电阻可用同类型的电阻串并联进行代换, 串并联后的总阻值应等于原阻值。例如需要一只 $3\text{ k}\Omega/2\text{ W}$ 的电阻, 可由 $1.2\text{ k}\Omega/1\text{ W}$ 和 $1.8\text{ k}\Omega/1\text{ W}$ 的电阻串联而成。替换时, 应注意串并联的各电阻实际承受的功率应小于该电阻的标称功率的一半。

3. 实训

将各种标称阻值、各种标称功率、各种制造材料的电阻数十只混在一起, 要求同学们从中找出某一特定阻值、特定功率的电阻, 以训练快速识别电阻参数的能力。

1.1.2 电容器

电容器是由两个金属电极中间夹一层绝缘电介质构成的一种储能元件。其基本单位是法拉(F), 常用的辅助单位是皮法(pF)、纳法(nF)和微法(μF)。它具有通交流、阻直流的特性, 常用于调谐、滤波、耦合、旁路、振荡产生等场合。

1. 电容器的分类

电容器按结构可分为固定电容器、可变电容器和半可变电容器三类。

电容器按介质材料可分为电解电容、云母电容、瓷介质电容、玻璃釉电容、纸介质电容和有机薄膜电容器等。

常见的电解电容有铝电解电容和钽电解电容, 以前者应用更广泛。铝电解电容具有容量大、体积小、耐压高的优点, 但存在误差大、绝缘电阻低的缺点, 常用在交流旁路和滤波。在要求更高的场合, 用钽电解电容, 但成本较高。使用时, 应注意电解电容的极性, 引线长的引脚为正端, 引线短的引脚为负端。若接反, 则电解电容迅速发热, 严重时还会爆炸。

云母电容是以云母片作为介质的电容器。其特点是高频性能稳定, 损耗小, 耐压高, 但容量小(几十~几万 pF)。

瓷介质电容以陶瓷材料为介质, 具有体积小、损耗小、温度系数低、频率范围广的特点, 但其耐压较低, 容量较小。

第1章 电子工艺基础

玻璃釉电容以玻璃釉为介质,其性能较瓷介质电容优,体积更小,频率范围更广,工作温度更高。

纸介质电容以油浸纸为介质的电容,其结构简单,价格低廉,但损耗大,稳定性差,主要用于低频旁路和隔直。

有机薄膜电容器是以聚苯乙烯、聚四氯乙烯或涤纶等材料代替纸介质做成的各种电容,与纸介质电容相比,具有体积小、耐压高、损耗小、绝缘电阻大、稳定性好的特点,但温度系数大。

2. 电容器的主要性能指标

标称容量指标在电容外壳上的电容容量,其标称系列为 E24、E12 和 E6 三种(详见电阻阻值介绍)。电解电容的标称容量系列为 1、1.5、2.2、3.3、4.7 和 6.8。

允许误差是电容实际容量与标称容量的最大允许误差范围。常见的误差等级如表 1.4 所列。

表 1.4 电容器的误差等级

级 别	01	02	I	II	III	IV	V	VI
允许误差/%	±1	±2	±5	±10	±20	+20~-30	+50~-20	+100~-10

额定工作电压指电容器能长期工作而不改变性状的最高工作电压。常见的工作电压标准有 6.3 V、10 V、16 V、25 V、40 V、63 V、100 V、160 V、250 V 和 400 V 等。

绝缘电阻指加在电容上的直流电压与通过它的漏电流的比值。绝缘电阻越大,表明漏电流越小,质量越高。品质优良的电容绝缘电阻都在 5 000 MΩ 以上。

3. 电容器的识别

电容的标称容量最常见的标识方法是直标法,即把电容的容量直接标注在电容的表面上,如 0.22 μ 表示 0.22 μF,33n2 表示 33.2 nF。

电容的标称容量另一常见的标识方法是数码法,一般用三位数字表示其容量大小,单位为皮法(pF)。第一、第二位表示数字,第三位表示倍乘。例如,104 指 $10 \times 10^4 = 100\ 000\ \text{pF} = 0.1\ \mu\text{F}$ 。

4. 电解电容质量的简易判别方法

利用指针式万用表测量电解电容的漏电流可以粗略地判别电解电容的质量。指针式万用表选用“R×1 k”或“R×100”档,黑表笔接电容的正极,红表笔接电容的负极。若表针摆动幅度大,返回速度快且返回位置接近∞,则说明该电解电容正常,容量较大且漏电流小;若表针摆动幅度大,返回速度慢且返回位于较小欧姆值,则说明该电解电容漏电流较大;若表针摆动幅度大但不返回,则说明电容已击穿或接近击穿;若表针不摆动,则说明该电解电容开路。若需要对电解电容再测量一次,则须先对电解电容放电后再测。