

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

# 电子系统综合设计

主 编	郭 勇	余小平
副主编	高 嵩	钟晓玲
参 编	周冬梅	封岸松
	姚文华	于 真



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书从电子系统应用设计的角度讲述了电子系统综合设计的方法和步骤。全书共 6 章,主要讲述了电子系统综合设计的基础知识、微控制器应用系统综合设计、DSP 应用系统综合设计、可编程逻辑器件应用系统综合设计以及电子系统综合设计的工程问题。其目的在于拓宽学生的知识面,培养学生的电子系统设计能力和创新能力。

本书取材新颖,内容翔实,可作为高等院校电子信息类高年级学生的教科书,也可作为参加全国大学生电子设计竞赛的学生的培训教材,还可供研究生和其他相关学科的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子系统综合设计/郭勇,余小平主编.—北京:北京大学出版社,2007.9

(21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-12175-7

. 电... . 郭... 余... . 电子系统—系统设计—高等学校—教材 . TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 074912 号

书 名: 电子系统综合设计

著作责任者: 郭 勇 余小平 主编

策划编辑: 徐 凡

责任编辑: 李娉婷

标准书号: ISBN 978-7-301-12175-7/TM · 0003

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子信箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者:

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 16.25 印张 366 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子信箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

本书是根据高等工科院校电子技术实践教学大纲的基本要求，并综合了多所高等院校相关教师多年的教学实践和科研设计经验编写的。

本书内容丰富、翔实。第1章介绍了电子系统综合设计的基本概念、电子系统综合设计方法和流程；第2章介绍了常用电子元器件及其应用，常用模拟电路设计，常用数字电路设计，集成电路设计，常用电子仪器和常用工具软件的使用等。第3章以通用的MCS-51微控制器为例，讲述了微控制器应用系统综合设计中将涉及的主要问题和解决办法，如微控制器的发展趋势、应用及选择以及综合设计的一般过程；讲述了微控制器应用系统的几种总线扩展和应用设计；讲述了微控制器应用系统程序设计中必然面对的几个问题：编程语言的选择，程序设计规范，汇编编程，C51编程等。第4章以TI公司的TMS320C54X DSP为例，讲述了DSP的硬件结构、程序设计和最小应用系统设计。第5章以Xilinx公司的FPGA为例，介绍了可编程逻辑器件的应用设计，同时还介绍了ISE 6.2和Modelsim软件的使用和VHDL设计应用。第6章主要讲述电子系统设计时要注意的电磁兼容性及其可靠性问题。

本书在编写过程中得到了北京大学出版社、成都理工大学信息工程学院、沈阳化工学院等单位的大力支持和帮助；许多同行提出了很多的宝贵意见，在此一并表示衷心的感谢。本书在编写过程中参考和借鉴了许多教材、文献，在此也表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，本书可能存在不足和错误之处，恳请读者批评指正。

编 者

2007年7月

# 丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自20世纪90年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005年4月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共70余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005年8月在北京召开了《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审纲会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了32本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北大出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在2006年与读者见面了。

《21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉工业企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才”目标,具有以下特点:

(1) 强调大基础:针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统

一的大平台上，有利于教学过程的实施。

(2) 突出应用性：教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把工业企业的实际应用情况反映到教材中，教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题，避免空洞。

(3) 坚持科学发展观：教材内容组织从可持续发展的观念出发，根据课程特点，力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) 教学资源齐全：与纸质教材相配套，同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源，方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者，没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践，要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台，为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生，不吝指正，随时给我们提出宝贵的意见，以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

# 目 录

第 1 章 电子系统综合设计概述 .....	1
1.1 电子系统的构成 .....	1
1.2 电子系统综合设计的方法和原则 .....	2
1.2.1 电子系统设计的一般方法 .....	2
1.2.2 电子系统综合设计的一般原则 .....	4
1.3 电子系统综合设计步骤 .....	4
小结 .....	6
习题 .....	6
第 2 章 电子系统综合设计基础 .....	7
2.1 常用电子元器件 .....	7
2.1.1 电阻器、电容器、电感器及其应用 .....	7
2.1.2 二极管、三极管、场效应管及其应用 .....	14
2.1.3 集成电路及其应用 .....	21
2.1.4 特殊元器件及其应用 .....	24
2.2 模拟电路设计 .....	26
2.2.1 模拟电子电路的设计方法 .....	27
2.2.2 传感器 .....	27
2.2.3 集成运算放大器 .....	30
2.2.4 滤波器 .....	31
2.3 数字电路设计 .....	33
2.3.1 模拟开关和数据选择器 .....	33
2.3.2 数值比较器 .....	42
2.3.3 计数器/分频器 .....	44
2.3.4 译码器 .....	48
2.4 集成电路设计 .....	54
2.4.1 传感器放大电路的设计 .....	54
2.4.2 有源滤波器的设计 .....	58
2.4.3 转换电路的设计 .....	61
2.4.4 集成信号发生器 .....	66
2.5 常用电子仪器 .....	69
2.5.1 万用表 .....	69
2.5.2 示波器 .....	71
2.5.3 信号发生器 .....	75

2.5.4 直流稳压电源.....	77
2.6 常用工具软件.....	78
2.6.1 Protel DXP.....	78
2.6.2 EWB 7.0.....	87
小结.....	95
习题.....	96
<b>第3章 微控制器应用系统综合设计.....</b>	<b>97</b>
3.1 微控制器应用系统综合设计概述.....	97
3.1.1 微控制器的发展趋势.....	97
3.1.2 微控制器的应用及选择.....	98
3.1.3 微控制器应用系统综合设计的一般过程.....	99
3.2 微控制器应用系统硬件及接口设计.....	100
3.2.1 时钟电路设计.....	100
3.2.2 复位电路设计.....	101
3.2.3 键盘接口设计.....	101
3.2.4 显示器接口设计.....	104
3.2.5 语音接口设计.....	110
3.2.6 单总线接口设计.....	113
3.2.7 I <sup>2</sup> C 总线接口设计.....	116
3.2.8 SPI 总线接口设计.....	120
3.3 微控制器应用系统程序设计.....	124
3.3.1 微控制器应用系统程序设计编程语言选择.....	124
3.3.2 微控制器应用系统程序设计规范.....	125
3.3.3 汇编程序设计.....	126
3.3.4 C51 程序设计.....	128
3.3.5 C51 与汇编的混合编程.....	131
小结.....	135
习题.....	136
<b>第4章 DSP 应用系统综合设计.....</b>	<b>137</b>
4.1 DSP 应用系统概述.....	137
4.1.1 DSP 应用系统的特点.....	137
4.1.2 DSP 芯片的分类及选择.....	138
4.1.3 DSP 应用系统设计的一般步骤.....	139
4.2 TMS320C54X 应用系统的硬件设计.....	140
4.2.1 TMS320C54X 应用系统硬件接口.....	140
4.2.2 电源设计.....	141
4.2.3 复位电路设计.....	141

---

4.2.4	时钟电路设计.....	142
4.2.5	外部存储器与并行 I/O 接口电路设计.....	143
4.2.6	3V 和 5V 混合逻辑设计.....	143
4.3	汇编语言程序设计.....	144
4.3.1	CCS 集成开发环境简介.....	144
4.3.2	DSP 汇编语言程序的编写.....	145
4.3.3	应用程序设计举例.....	148
	小结.....	153
	习题.....	153
<b>第 5 章</b>	<b>可编程逻辑器件综合设计.....</b>	<b>154</b>
5.1	可编程逻辑器件概述.....	154
5.1.1	PLD 分类.....	155
5.1.2	FPGA/CPLD 概述.....	155
5.1.3	PLD 的开发软件.....	156
5.2	CPLD/FPGA 结构与原理.....	157
5.3	Xilinx 公司的 CPLD 介绍.....	161
5.4	Xilinx 公司的 FPGA.....	165
5.4.1	主流 FPGA.....	165
5.4.2	Spartan IIE 器件.....	166
5.4.3	Xilinx 公司 FPGA 其他系列简介.....	169
5.5	Xilinx 公司的开发软件.....	170
5.6	VHDL 编程举例.....	179
5.6.1	VHDL 编程.....	179
5.6.2	VHDL 编程举例.....	181
	小结.....	204
	习题.....	205
<b>第 6 章</b>	<b>电子系统综合设计的工程问题.....</b>	<b>206</b>
6.1	电子系统抗干扰性设计.....	206
6.1.1	电磁干扰带来的危害.....	206
6.1.2	电磁干扰的定义和三要素.....	208
6.1.3	电磁干扰的类型.....	208
6.1.4	干扰传播的(耦合)路径.....	211
6.1.5	抗干扰设计的工程方法.....	214
6.2	电子系统可靠性设计.....	220
6.2.1	可靠性的定义与衡量指标.....	220
6.2.2	可靠性设计.....	222
6.2.3	提高系统可靠性的措施.....	227

6.3 电子系统的装配与调试.....	231
6.3.1 印制电路板和元器件的安装.....	231
6.3.2 电子系统的调试.....	238
小结.....	242
习题.....	242
参考文献.....	244

# 第 1 章 电子系统综合设计概述

教学提示：本课程是一门综合应用课程。本章首先讲述了电子系统的结构以便读者从系统的角度认识电子系统，接着讲述了电子系统综合设计方法和原则以及电子系统综合设计步骤。

教学要求：通过本章的学习，要求理解并掌握电子系统综合设计方法和设计步骤，提高电子系统综合设计能力。

## 1.1 电子系统的构成

电子系统主要是指由多个电子元器件或功能模块组成，能实现较复杂功能的实体。如自动控制系统、电子测量系统、计算机系统、通信系统等。一般来说，一个复杂的电子系统可以分解成若干个子系统，其中每个子系统又由若干个功能模块组成，而功能模块由若干电子元器件组成，如图 1.1 所示。

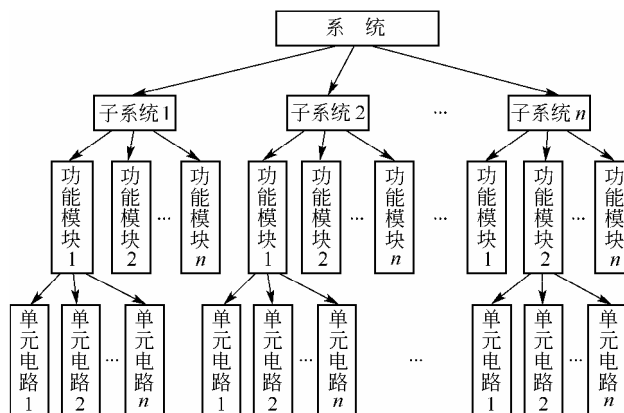


图 1.1 电子系统构成示意图

图 1.2 为以 MCU/ARM/DSP 为核心的电子测量系统组成示意图。该电子系统主要由以下分系统组成：模拟子系统；数字子系统；数模混合子系统；MCU/ARM/DSP 子系统。其中，这些子系统又由各个功能模块构成。如数模混合子系统由信号调理与驱动模块、输入/输出接口模块、通信接口模块、系统译码与控制模块、电源模块等组成。

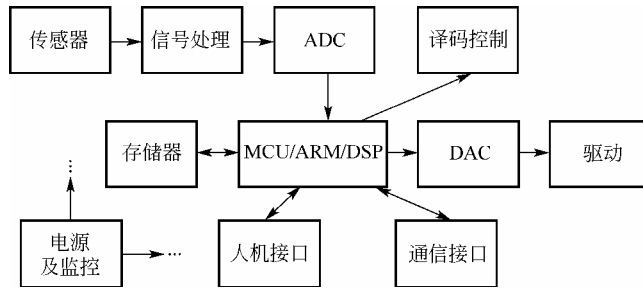


图 1.2 以 MCU/ARM/DSP 为核心的电子测量系统组成示意图

## 1.2 电子系统综合设计的方法和原则

### 1.2.1 电子系统设计的一般方法

电子系统设计是系统工程设计，一般是比较复杂的，必须采用有效的方法去管理才能使设计工作顺利并取得成功。

基于系统的功能与结构上的层次性，电子系统设计一般有以下三种方法：自顶向下法；自底向上法；组合法。

(1) 自顶向下法(top to down)：首先从系统级设计开始，根据系统级所描述的该系统应具备的各项功能，将系统划分为单一功能的子系统，再根据子系统任务划分各部件，完成部件设计后，最后才是元件级设计。

优点：避开具体细节，有利于抓住主要矛盾。适用于大型的、复杂的系统设计。

(2) 自底向上法(bottom to up)：根据要实现的系统的各个功能要求，从现有的元器件或模块中选出合适的文件，设计各部件，一级一级向上设计，最后完成整个系统。

优点：可以继承经过验证、成熟的部件和子系统，实现设计重用，提高设计效率。多用于系统的组装和测试。

(3) 组合法(TD & BU combined)：此方法综合了自顶向下法和自底向上法的优点。

为实现设计的可重复使用以及对系统进行模块化设计测试，现代的系统设计通常采用以自顶向下法为主，结合使用自底向上法的方法。

由于电子电路种类繁多，千差万别，设计方法也因具体情况不同而不同，因此在设计时，应根据实际情况灵活掌握。

下面以自顶向下法为例，详细介绍该设计方法。

#### 1. 总体方案的设计与选择

选择总体方案是电路应用系统设计的第一步。根据设计任务、指标要求分析系统应完成的功能，并将系统按功能分解成若干子系统，分清主次和相互的关系，形成若干单元功能模块组成的总体方案。

一般需要多个方案，每个方案用框图的形式表示出来(关键的功能模块的作用一定要表达清楚，还要表示出它们各自的作用和相互之间的关系，注明信息的走向等)，然后通过实

实际的调查研究、查阅有关的资料或集体讨论等方式，着重从方案能否满足设计指标要求、结构是否简单、实现是否经济可行等方面考虑，对几个方案进行比较和论证，择优选取。

在方案选择中，还应注意以下两个问题：

(1) 对不同的方案，应深入分析比较。对关键部分，还要提出各种具体电路，根据设计要求进行分析比较，从而找出最优方案。

(2) 还需考虑方案的可行性、性能、可靠性、成本、功耗等实际问题。

## 2. 单元电路的设计与选择

在确定了应用系统的总体方案，绘出了子系统中各部件的详细功能框图后，便可进行单元电路设计。任何复杂的电子电路，都是由若干具有简单功能的单元电路组成的。这些单元电路的性能指标往往比较单一。在明确每个单元电路的技术指标后，要分析清楚单元电路的工作原理，设计出各单元的电路结构形式。尽量采用学过的或熟悉的单元电路，也要善于通过查阅资料、分析研究一些新型电路，开发利用新型器件。

根据设计要求和已选定的总体方案的原理框图，确定对各单元电路的设计要求，必要时应详细拟定主要单元电路的性能指标。注意各单元电路之间的相互配合，但要尽量少用或不用电平转换之类的接口电路，以简化电路结构、降低成本。

各单元电路之间要注意在外部条件、元器件使用、连接关系等方面的配合，尽可能减少元器件的数量、类型、电平转换和接口电路，以保证电路最简单、工作最可靠、经济实用。各单元电路拟定后，应全面地检查一次，看每个单元各自的功能是否能实现，信息是否能畅通，总体功能是否满足要求，如果存在问题必须及时做出局部调整。

## 3. 元器件的选择

选择元器件时，一般优先选用集成电路。集成电路的广泛应用，不仅减少了电子设备的体积和成本，提高了可靠性，使安装调试和维修变得比较简单，而且大大简化了电子电路的设计。

(1) 集成电路的选择：集成电路的种类繁多，选用方法一般是“先粗后细”，即先根据主体方案考虑应选用什么功能的集成电路，再进一步考虑它的具体性能，然后再根据价格等因素选用什么型号。选择的集成电路不仅要在功能和特性上实现设计方案，而且要满足功耗、电压、温度、价格等多方面的要求。

(2) 阻容元件的选择：电阻和电容种类很多，正确选择电阻和电容是很重要的，不同的电路对电阻和电容性能要求也不同，有些电路对电容漏电要求很严格，还有些电路对电阻和电容的精度要求很严，设计时要根据电路的要求选择性能和参数合适的阻容元件，并注意功耗、容量、频率、耐压范围是否满足要求。

(3) 分立元器件的选择：分立元器件包括二极管、三极管、场效应管和晶闸管等，选择器件的种类不同，注意事项也不同。例如三极管，在选用时应考虑是 NPN 管还是 PNP 管，是大功率管还是小功率管，是高频管还是低频管，并注意管子的电流放大倍数、击穿电压、特征频率、静态功耗等是否满足电路设计的要求。

#### 4. 元器件的参数计算

单元电路的结构、形式确定以后，需要对影响技术指标和参数的元器件进行计算。这种计算有的需要根据电路理论公式进行，有的按照工程估算方法，有的可用典型电路参数或经验数据。选用的元器件参数值最终都必须采用标称值。计算电路参数时应注意如下问题：

(1) 各元器件的工作电流、工作电压、频率和功耗应在允许的范围内，并留有适当的余量，以保证电路在规定的条件下正常工作，达到所要求的性能指标。

(2) 对于环境温度、其他干扰等工作条件，计算参数时应按最坏的情况考虑。

(3) 保证电路性能的前提下，尽可能设法降低成本，减少元器件的品种、功耗和体积，并为安装调试创造有利条件。

(4) 在满足性能指标和上述各项要求的前提下，应优先用现有的或容易买到的元器件，以节省时间和精力。

#### 1.2.2 电子系统综合设计的一般原则

任何一项系统的设计，都要遵循一定的原则或标准、规范。进行电子系统综合设计，一般要求遵循以下一些原则：

(1) 兼顾技术的先进性和成熟性：当今世界，电子技术的发展日新月异。系统设计应适应技术发展的潮流，使系统能保持较长时间的先进性和实用性。同时也要兼顾技术上的成熟性，以缩短开发时间和上市时间。

(2) 安全、可靠和容错性：安全在任何产品中都是第一位的，在电子系统综合设计中也是必须首先考虑的。采用成熟的技术和成熟的元器件和部件，可以在一定程度上保证系统的可靠、稳定和安全。系统还应具有较强的容错性。如不会因人员操作失误，而使整个系统无法工作，或某个模块出现故障，而使整个系统瘫痪等。

(3) 实用性和经济性：在满足基本功能和性能的前提下，系统应具有良好的性价比。

(4) 开放性和可扩展性：系统能够支持不同厂商的产品，支持多种协议，并且符合国际标准及相关协议。还应包括子系统之间、子系统对主系统的开放以及系统对外部的开放，以便在对系统进行升级改造时不仅可以保护原有资源，还可以降低系统维护、升级的复杂性以及提高效率。

(5) 易维护性：元器件和部件应尽可能采用通用、成熟产品，使系统便于维护。

### 1.3 电子系统综合设计步骤

电子系统综合设计的一般过程如下。

#### 1. 调查研究

这一步的主要工作有：通过调查研究明确设计任务和要求；确定系统功能指标；了解设计关键；完成系统功能示意框图。简言之，就是必须明确做什么，做到什么程度。

## 2. 方案选择与可行性论证

要求综合应用所学知识，同时查阅有关参考资料；要敢于创新，敢于采用新技术，不断完善所提的方案；应提出几种方案，对它们进行可行性论证，从完成的功能、性能和技术指标的程度、经济性、先进性、实现的可能性以及完成的进度等方面进行比较，最后选择一个较好的方案。

首先，进行系统功能划分。把系统所要实现的功能分配给若干个单元电路，画出能表示各单元功能的整机原理框图。然后，进行方案比较和可行性论证。最后，确定总体方案。在方案选择完成后，对各单元电路的功能、性能指标、与前后级之间的关系均应当明确。

## 3. 单元电路设计、参数选择和元器件选择

这一步需要有扎实的电子电路知识。对各单元电路可能的组成形式进行分析、比较，在确定了单元电路后，就可选择元器件。据某种原则或根据已确定好的单元电路部分元件的参数，去计算其余元器件参数和电路参数。

## 4. 组装与调试

设计结果的正确性需要验证，需要用仪器进行测试。这样可以发现问题，并及时修改，直到所要求的功能和性能指标完全符合要求。

## 5. 编写设计文档与总结报告

符合标准形式的设计文件是一个完整设计过程不可缺少的部分。文件的类型要求，内容与格式，可参考原电子工业部制定的行业标准 SJ/T 207.2—1999《设计文件的管理制度 第二部分设计文件的格式》。软件是电子设备的一个必不可少的组成部分。对于软件文件的组成，可参考国家标准 GB/T 8567—1988《计算机软件产品开发文件编制指南》。

(1) 设计文档的编写。设计文档的具体内容与以上设计过程是相呼应的：

- 系统的设计要求与技术指标的确定；
- 方案选择与可行性论证；
- 单元电路设计、参数选择和元器件选择；
- 参考文献。

(2) 总结报告的编写。总结报告的具体内容有：

- 设计工作的进程记录；
- 原始设计修改部分的说明；
- 实际电路原理图、程序清单等；
- 功能与指标测试结果(注明所使用的仪器型号与规格)；
- 系统的操作使用说明；
- 存在的问题及改进措施等。

## 小 结

本章主要介绍电子系统综合设计的理论知识：电子系统的结构、综合设计方法和原则，以及电子系统综合设计的步骤。

一般来说，一个复杂的电子系统可以分解成若干个子系统，其中每个子系统又由若干个功能模块组成，而功能模块由若干电子元器件组成。

电子系统设计是系统工程设计，一般是比较复杂的，必须采用有效的方法去管理才能使设计工作顺利并取得成功。基于系统的功能与结构上的层次性，电子系统设计一般有以下几种方法：自顶向下法、自底向上法、组合法。

任何一项系统的设计，都要遵循一定的原则或标准、规范。电子系统综合设计也必须遵循一定的原则。

## 习 题

1. 电子系统综合设计一般有哪些方法？
2. 电子系统综合设计一般要遵循哪些基本规则？
3. 电子系统综合设计的主要步骤有哪些？

## 第 2 章 电子系统综合设计基础

教学提示：本章共分六节，主要讲述电子系统综合设计的基础知识和基础设计。前三节介绍了电子系统综合设计的基础知识：常用电子元器件的知识、常用工具软件和常用电子仪器；后三节介绍了电子系统基础设计：模拟电路设计、数字电路设计和集成电路设计。

教学要求：通过本章的学习，应掌握电子系统综合设计的基础知识和电子系统的基础设计，为后续的学习奠定基础。

### 2.1 常用电子元器件

任何电子电路都是由元器件组成的。常用的元器件有电阻器、电容器、电感器和各种半导体器件(如二极管、三极管、集成电路等)等。因此电子系统设计人员就必须对这些元器件的结构、功能、主要参数性能和使用方法深入了解和熟练掌握。本小节对常用的一些电子元器件的有关知识加以介绍。

#### 2.1.1 电阻器、电容器、电感器及其应用

##### 1. 电阻器及其应用

电阻器(简称电阻)在电路中常用  $R$  加数字表示，是电路元件中应用最广泛的一种。它的主要应用有限流、分压、定时元件、电压-电流转换、阻抗匹配、利用热敏电阻测温或控温等。电阻器在电子设备中占元器件的 30% 以上，其质量的好坏对电路工作的稳定性有很大的影响。常用电阻器的外形和图形符号如图 2.1 所示。

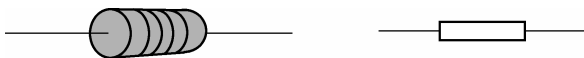


图 2.1 常用电阻器的外形及图形符号

##### (1) 电阻器的主要性能指标：

**标称阻值**：指标注于电阻体上的名义阻值。其单位为欧( $\Omega$ )、千欧( $k\Omega$ )、兆欧( $M\Omega$ )。

**允许误差**：指电阻器或电位器的实际阻值对于标称阻值的最大允许偏差范围。它表示产品的精度。允许误差等级有  $\pm 0.5\%$ (005 级)、 $\pm 1\%$ (01 级)、 $\pm 2\%$ (02 级)、 $\pm 5\%$ ( 级)、 $\pm 10\%$ ( 级)、 $\pm 20\%$ ( 级)。其中前三种是精密电阻，后三种是普通电阻。绕线电位器的允许误差一般不大于  $\pm 10\%$ ，非绕线电位器的允许误差一般不大于  $\pm 20\%$ 。

电阻器的阻值和误差，一般都用数字标记在电阻器上。但由于电阻器的体积很小，一些合成电阻器常用色环来表示其阻值和误差，如表 2-1 所示。它是在靠近电阻器的一端画有四道(一般电阻)或五道(精密电阻)色环。一般电阻的第一、二道色环和精密电阻的第一、二、三道色环都表示相应位阻值的数字。其后的一道色环则表示前面的数字再乘以 10 的  $n$  次幂，最后一道色环表示阻值的允许误差。

表 2-1 电阻器色环颜色的意义

颜色 数值	黑	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	金	银	本色
代表数值	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
允许误差	±1%	±2%				±0.5%	±0.25%	±0.1%			±5%	±10%	±20%

例如：五色环电阻器的第一～五道色环分别为棕、绿、黑、黄、紫色，则该电阻的阻值和误差分别为

$$R=(1 \times 100+5 \times 10+0 \times 1) \times 10^4 \times 1 \text{ M}\Omega=1.5 \text{ M}\Omega \quad \text{误差为} \pm 0.1\%$$

额定功率：指在规定的环境温度(25 )和湿度下，长期稳定的工作条件下，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。为保证安全使用，一般选其额定功率比它在电路中消耗的功率高 1~2 倍。

成品电阻器常见的额定功率有：0.05W、0.125W、0.5W、1W、2W、4W 等。绕线电位器应用较多的有 2W、3W、5W、10W 等。

最高工作电压：是由电阻器、电位器最大电流密度、电阻器击穿电压及其结构等因素所规定的工作电压限度。对阻值较大的电阻器，当工作电压过高时，虽功率不超过规定值，但内部会发生电弧火花放电，导致电阻损坏。一般 0.125W 碳膜电阻器或金属膜电阻器，最高工作电压分别不能超过 150V 或 200V。

(2) 电阻器的分类：按结构可分为固定式和可调式两大类。固定式电阻器一般称为“电阻”。由于制作材料和工艺不同，可分为膜式电阻、实芯式电阻、金属线绕电阻 RX 和特殊电阻四种类型。膜式电阻包括碳膜电阻 RT、金属膜电阻 RJ、合成膜电阻 RH 和氧化膜电阻 RY 等。实芯式电阻包括有机实芯电阻 RS 和无机实芯电阻 RN。特殊电阻包括 MG 型光敏电阻和 MF 型热敏电阻。

可调式电阻可分为滑线式变阻器和电位器。其中应用广泛的是电位器。电位器是一种具有三个接头的可调电阻器，其阻值在一定范围内可调。

电位器的分类有以下几种。

电位器按电阻材料分，可分为薄膜和线绕两种。薄膜又可分为 WTX 型小型碳膜电位器、WTH 型合成碳膜电位器、WS 型有机实芯电位器、WHJ 型精密合成膜电位器和 WHD 型多圈合成膜电位器等。线绕电位器的代号为 WX 型。其阻值、误差和型号均标在电位器上。

电位器按调节机构的运动方式可分为旋转式和直滑式两种。

电位器按结构分，可分为单联、多联、带开关、不带开关等；开关形式又有旋转式、推拉式、按键式等。

电位器按用途分，可分为普通电位器、精密电位器、功率电位器、微调电位器和专用电位器等。

电位器按阻值随转角变化关系分，可分为线性(X 式即直线式)和非线性(D 式即对数式和 Z 式即指数式)电位器。X 式常用于示波器的聚焦电位器和万用表的调零电位器，其线性精度为 ±2%、±1%、±0.3%、±0.05%。D 式常用于电视机的黑白对比度调节电位器，其特点是先粗调后细调。Z 式常用于收音机的音量调节电位器，其特点是先细调后粗调。所有 X、D、Z 字母符号一般印在电位器上，使用时应注意。

(3) 电阻器的型号命名：电阻器的型号组成部分的意义及符号如表 2-2 所示。