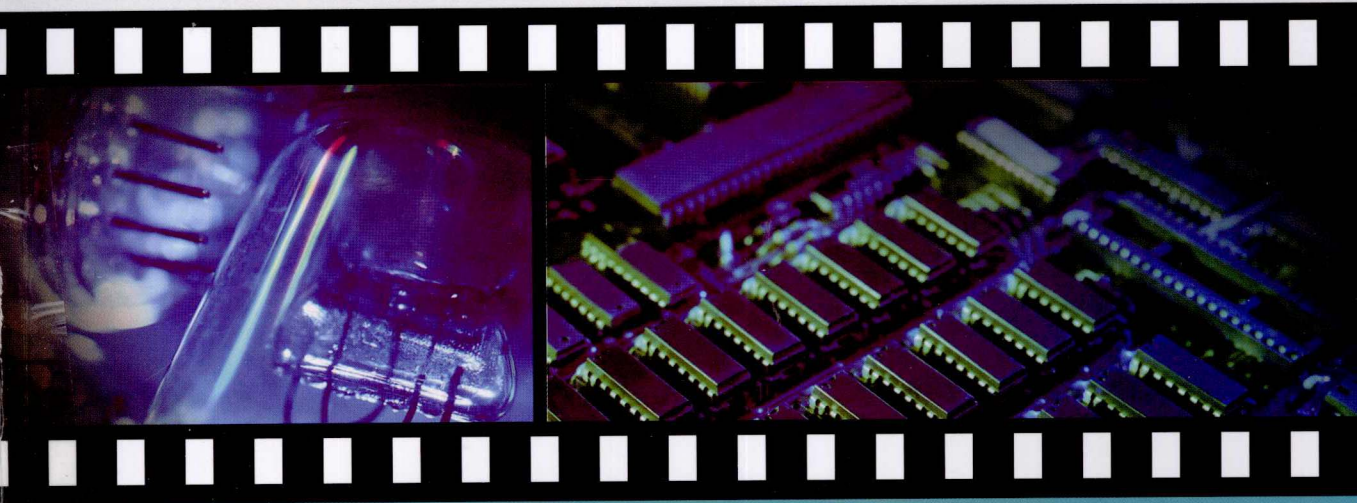


# 电子系统

设计基础



Digital System Design



张金主编 张锋 侯汝舜 卢胜 副主编

电子系统设计基础：电子设计打基础，一步一步跟我走  
现代电子系统设计：EDA、单片机、PLC，一个也不能少  
电子系统设计实战：集精选竞赛试题，汇实战经验技巧



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电子设计步步高

# 电子系统设计基础

张 金 主编

张 锋 侯汝舜 卢 胜 副主编

電子工業出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

“电子设计步步高”是针对国内应用电子系统设计的特点和需要,以全国大学生电子设计竞赛为背景,为高等院校电子信息类专业学生参加竞赛编写的系列培训和实训指导用书。系列教程分三篇:基础篇、提高篇和实践篇。

本册为基础篇——《电子系统设计基础》,以满足需求和够用为原则,详细介绍传统中小规模集成元件和分立元件电子系统设计的一般方法、步骤;电子系统调试与指标测试相关的电子测量与仪器仪表知识;常用电子元器件性能和选用方法;为电子系统提供能源的实用直流稳压电源设计方法及应用电路;集成运算放大器及构成的信号产生、变换,滤波电路设计与实例;温度、光电、金属、超声等电子设计竞赛常用传感器及其应用电路;继电器、直流电机、步进电机等执行元件的驱动电路设计等内容。本书最后结合电子技术课程设计和电子系统设计实训给出了三个实际系统设计实例,以供参考。

本书除可作为大学生电子设计竞赛培训实训指导用书外,也可作为电子信息工程、通信工程、自动控制、电气控制、计算机类各专业学生课程设计和毕业设计的参考用书。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子系统设计基础 / 张金主编. —北京:电子工业出版社, 2011.1  
(电子设计步步高)

ISBN 978-7-121-12499-0

I. ①电… II. ①张… III. ①电子系统—系统设计—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 240203 号

策划编辑:王敬栋

责任编辑:李蕊

印刷:北京市海淀区四季青印刷厂

装订:三河市鹏成印业有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开本:787×1092 1/16 印张:18.5 字数:448.4 千字

印次:2011 年 1 月第 1 次印刷

印数:4 000 册 定价:39.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 [zits@phei.com.cn](mailto:zits@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线:(010) 88258888。

## 前 言

随着半导体加工工艺和集成电路技术的发展,现代电子系统设计、功能实现、信息采集处理和应用方式等发生了质的变化,这对当今大学电子信息类专业人才的培养提出了严峻的挑战。如何培养理论基础扎实、创新能力强、综合素质高的人才成为电子信息类教学改革的重要目标。大学生电子设计竞赛是教育部倡导的大学生学科竞赛之一,是面向大学生的群众性科技活动。目的在于推动全国普通高等学校电子信息类学科课程体系和课程内容的改革,培养大学生的创新能力、协作精神和理论联系实际的学风,提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力。“电子设计步步高”系列教程以大学生电子设计竞赛为平台,以满足需要和够用为原则,总结多年来培训和指导大学生电子设计竞赛的经验和成果编写而成。本系列图书共三册,由炮兵学院张金副教授统稿。第一册基础篇——《电子系统设计基础》,第二册提高篇——《现代电子系统设计》,第三册实践篇——《电子系统设计实战——电子设计竞赛备战必读》。

《电子系统设计基础》内容翔实,其中第1章介绍电子系统基本概念,传统电子系统设计方法和设计流程。第2章介绍电子系统调试和指标测试过程中需要用到的电子测量、数据处理和仪器仪表相关知识。第3章简要介绍常用分立元器件电阻、电容、电感及半导体元件和集成IC的性能参数及选用原则。第4章介绍为电子系统提供能源的各种实用直流稳压电源电路设计。第5章重点介绍集成运算放大器组成的各类放大器的设计方法与应用技术,以及有源滤波器和信号产生与变换电路设计。第6章着重介绍各种温度、光电、金属、超声等大学生电子设计竞赛常用传感器及应用电路设计。第7章介绍继电器、直流电机、步进电机等执行元器件的驱动电路设计。第8章首先介绍峰值、有效值和自动增益控制电路设计,然后结合电子技术课程设计介绍3种典型应用电子系统实例。

本书由炮兵学院张金副教授统稿。第1、2、6章由炮兵学院张金副教授编写,第4、5、7章由炮兵学院张锋教员编写,第8章由清华大学侯汝舜高级工程师编写,第3章由炮兵学院卢胜副教授编写。

本书编写过程中,参考了许多专家同行们的著作,无法一一列出,在此表示衷心的感谢。由于水平有限,纰漏、不妥之处在所难免,恳切希望读者批评指正。

编 者

# CONTENTS

# 目 录

第1章 电子系统设计导论	1
1.1 概述	1
1.1.1 电子系统基本组成	1
1.1.2 电子系统基本类型	1
1.2 电子系统设计	3
1.2.1 电子系统设计基本原则	3
1.2.2 电子系统设计的基本内容	4
1.2.3 电子系统设计的一般方法	5
1.3 模拟电子系统设计流程	6
1.4 数字电子系统设计流程	8
第2章 电子测量与常用仪表	10
2.1 概述	10
2.1.1 测量定义	10
2.1.2 电子测量及分类	10
2.1.3 电子测量特点	12
2.1.4 电子测量内容	13
2.2 电子测量误差理论	13
2.2.1 误差的概念与表示方法	14
2.2.2 测量误差主要来源	15
2.2.3 测量误差分类	16
2.3 实验数据处理	19
2.3.1 有效数字的处理	19
2.3.2 近似数运算规则	20
2.3.3 等精度测量结果的处理步骤	21
2.3.4 测量数据的表示方法	22
2.4 电子电路基本参数的测试方法	25
2.4.1 电压测量	25
2.4.2 时间测量	27
2.4.3 相位测量	27
2.4.4 调幅度的测量	28
2.4.5 放大电路输入电阻与输出电阻的测量	29

2.4.6	幅频特性与通频带的测量	31
2.5	基本电子测量仪器的使用	32
2.5.1	万用表	33
2.5.2	信号发生器	42
2.5.3	示波器	48
2.5.4	交流毫伏表	58
<b>第3章</b>	<b>常用电子元器件</b>	<b>61</b>
3.1	电阻器	61
3.1.1	电阻器及其分类	61
3.1.2	电阻器的型号命名方法	62
3.1.3	电阻器的主要性能指标	63
3.1.4	电阻器阻值标示方法	64
3.1.5	敏感电阻	65
3.1.6	电阻器的简单测试	68
3.1.7	选用电阻器常识	70
3.2	电容器	71
3.2.1	电容器及其分类	71
3.2.2	电容器的型号命名方法	73
3.2.3	电容器的主要性能指标	74
3.2.4	电容量标示方法	75
3.2.5	电容器的简单测试	75
3.2.6	选用电容器常识	76
3.3	电感器	77
3.3.1	电感器及其分类	77
3.3.2	电感器的主要性能指标	78
3.3.3	电感器的简单测试	78
3.3.4	选用电感器常识	78
3.4	半导体分立器件的简单识别与型号命名法	79
3.4.1	半导体分立器件型号命名法	79
3.4.2	二极管	84
3.4.3	三极管	87
3.5	半导体集成电路	92
3.5.1	集成电路分类	92
3.5.2	集成电路的型号命名法	93
3.5.3	封装形式	95
3.6	表面贴装元器件	95
3.6.1	电阻器	95

3.6.2	电容器	97
3.6.3	电感器	98
3.6.4	二极管及三极管	99
3.6.5	贴片晶振	99
<b>第4章</b>	<b>直流稳压电源设计</b>	<b>100</b>
4.1	直流稳压电源的基本原理	100
4.1.1	整流电路	100
4.1.2	滤波电路	101
4.2	集成稳压电路	102
4.2.1	三端固定式稳压器	102
4.2.2	三端可调式稳压器	104
4.3	正、负输出稳压电源	104
4.4	DC/DC 电源变换	105
4.5	斩波调压电源电路	106
4.6	固定式稳压器构成的可调稳压电路	108
4.7	受控稳压电源	109
4.8	LCD 显示器用负压电源	109
<b>第5章</b>	<b>集成运算放大器应用电路设计</b>	<b>112</b>
5.1	放大器概述	112
5.2	分立元器件放大电路设计	113
5.2.1	晶体管放大电路的设计	113
5.2.2	场效应管放大电路的设计	117
5.3	集成运算放大器基本知识	119
5.3.1	概述	119
5.3.2	集成运算放大器的内部电路简介	120
5.3.3	常用运算放大器类型	122
5.3.4	集成运算放大器主要参数	125
5.3.5	理想集成运算放大器	127
5.3.6	集成运放的选用原则	129
5.4	应用电路设计	132
5.4.1	简单电压放大电路设计	132
5.4.2	双电源交流电压放大电路设计	133
5.4.3	单电源交流电压放大电路设计	134
5.4.4	前置放大电路设计	135
5.4.5	差动放大电路设计	136
5.4.6	仪用放大电路设计	137

5.4.7	隔离放大器	139
5.4.8	采样保持放大电路设计	141
5.5	有源滤波电路设计	143
5.5.1	滤波器分类	143
5.5.2	有源滤波器设计原理	146
5.5.3	有源滤波器设计实例	149
5.5.4	集成有源滤波器	156
5.6	信号产生电路	157
5.6.1	矩形波产生电路	157
5.6.2	正弦波产生电路	159
5.6.3	三角波产生电路	160
5.6.4	锯齿波发生器	161
5.7	变换电路	162
5.7.1	电压/频率、频率/电压变换电路	162
5.7.2	电流/电压变换电路	163
<b>第6章</b>	<b>传感器及应用电路设计</b>	<b>164</b>
6.1	传感器概述	164
6.1.1	传感器的组成	165
6.1.2	传感器分类	166
6.1.3	传感器静态特性	168
6.1.4	传感器动态特性及指标	172
6.2	温度传感器	175
6.2.1	金属热电阻温度传感器	175
6.2.2	热敏电阻	177
6.2.3	热电偶传感器	181
6.2.4	集成温度传感器	184
6.3	光电传感器	192
6.3.1	光敏器件	192
6.3.2	几种常用的集成光电传感器及应用	194
6.3.3	应用电路	197
6.3.4	应用时需要注意的问题	198
6.4	超声波传感器	199
6.4.1	基本原理及其特性	199
6.4.2	超声波传感器的发射/接收电路	201
6.4.3	集成超声波传感器	203
6.4.4	超声波传感器的应用	204
6.5	霍尔传感器与应用电路	205



6.5.1	霍尔效应	205
6.5.2	霍尔元器件及基本电路	206
6.5.3	集成霍尔传感器及应用	208
6.6	金属传感器	209
6.6.1	电感式接近开关	210
6.6.2	电容式接近开关	210
6.6.3	自制简易金属传感器电路	211
6.7	气体传感器	212
6.8	分立元器件制作的声音报警电路	213
<b>第7章</b>	<b>功率驱动电路</b>	<b>215</b>
7.1	功率放大电路	215
7.2	直流电机驱动接口电路	218
7.2.1	直流电机类型	218
7.2.2	直流电机电枢调速原理	218
7.2.3	直流电机电枢调速的电路设计	219
7.2.4	FPGA 产生 PWM 波形	220
7.3	步进电机及驱动电路	222
7.3.1	步进电机的构造	222
7.3.2	步进电机运转原理	223
7.3.3	步进电机工作方式	224
7.3.4	步进电机驱动电路	225
7.3.5	步进电机的性能指标及选择	233
7.4	继电器驱动电路	236
7.5	固态继电器驱动电路	239
7.5.1	固态继电器简介	239
7.5.2	固态继电器分类	241
7.5.3	固态继电器主要参数与选用	242
7.5.4	应用电路	245
<b>第8章</b>	<b>综合设计实例</b>	<b>248</b>
8.1	峰值、有效值测量的模拟实现	248
8.1.1	峰值检波电路	248
8.1.2	真有效值检波	248
8.2	峰值、有效值测量的数字实现	250
8.2.1	数字法实现峰值测量的原理	250
8.2.2	数字法实现有效值测量的原理	250
8.3	自动增益控制电路	252

8.3.1	场效应管和运放实现	253
8.3.2	单片机控制实现	253
8.3.3	可变增益放大器实现	253
8.4	线性集成运放组成的稳压电源设计	257
8.4.1	设计内容和要求	257
8.4.2	电路设计	258
8.4.3	元器件及参数选择	259
8.4.4	稳压电源调试	263
8.4.5	稳压电路指标测试	264
8.5	经典超声波测距系统设计	265
8.5.1	工作原理	266
8.5.2	元器件选择	269
8.5.3	制作调试	270
8.6	经典脉搏检测系统设计	272
8.6.1	设计内容和要求	272
8.6.2	脉搏波的特性	273
8.6.3	脉搏波检测原理	274
8.6.4	总体思路	275
8.6.5	单元电路设计	275
8.6.6	LM324 集成运放特性	279
8.6.7	定时及显示控制电路设计	280
附录 A	部分电气图形符号	283
附录 A.1	电阻器、电容器、电感器和变压器	283
附录 A.2	半导体管	283
附录 A.3	其他电气图形符号	284
参考文献		285

# 第 1 章 电子系统设计导论

ONE

电子系统设计是电子技术课程的实践性教学环节,是大学学习中一个非常重要的综合性训练阶段。它是在学生完成模拟电路、数字电路、微处理器等课程学习后,在教师指导下独立完成某一课题的电子系统设计、安装和调试工作的全过程。通过电子系统设计培养学生具备一定专业技术能力和将所学基础知识综合运用理论水平,以达到理论联系实际、独立解决实际问题的目的。

## 1.1 概述

### 1.1.1 电子系统基本组成

通常将由电子元器件或部件组成的能够产生、传输或处理电信号及信息的客观实体称为电子系统,如通信系统、雷达系统、计算机系统、电子测量系统、自动控制系统等,它们都是能够完成某种任务的电子设备。一般把规模较小、功能单一的称为单元电路;把功能复杂,由若干个单元电路(功能块)组成规模较大的电子电路称为电子系统。电子系统一般包括输入/输出、信息处理和控制在三大部分,可实现信号的处理、变换、控制或负载驱动。如图 1-1 所示为电子系统的基本组成框图。

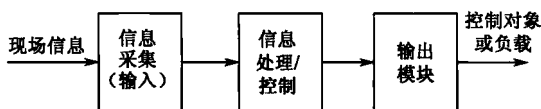


图 1-1 电子系统的基本组成框图

### 1.1.2 电子系统基本类型

#### 1. 模拟电子系统

模拟电路是构成各种电子系统的基础,模拟电子系统是将各类待处理的物理量通过不同种类传感器转换为电信号,使电信号的电压、电流、相位、频率等参数与某物理量具有直接的对应关系。经过处理的电信号有的需要还原成模拟量,如电视系统将光信号转换成电信号,再将电信号转换成光信号;有的则转换成其他物理量,如测量温度的仪表将温度转换成电信号后经处理再转换成磁信号,通过指针表示温度值。

模拟电子系统的主要优点是在整个处理过程中电信号的有关参数始终与原始的物理量

有着直接的对应关系——模拟关系。放大、滤波、信号调理、驱动是组成模拟电子系统的主要单元电路。一般来讲，模拟电子系统输入电路主要完成系统与信号源的阻抗匹配、信号幅度的变换等功能，输出电路则主要起到与负载或被控对象的阻抗匹配、负载驱动等作用。不管是模拟电子系统还是数字电子系统都要用到模拟电子电路。切不可将模拟电子系统与数字电子系统混为一谈，认为在某个领域中模拟电子系统将被取代，或是模拟电路将被数字电路取代。

目前，模拟电路的设计有两种方法：人工设计与计算机辅助设计（CAD）。

## 2. 数字电子系统

数字电子系统主要用来对不随时间做连续变化的数字信号进行传输、处理和控制。数字电子系统一般由控制器和若干逻辑功能较单一的子系统构成，如存储器、译码器、比较器、计数器等。控制器是数字电子系统中必需的，也是区别系统和功能部件的标志。凡是有控制器的数字电路，不管规模大小都称为数字电子系统，否则只能称为部件。数字电子系统的规模大小不一，有的内部逻辑关系复杂，若直接对这样大的系统进行逻辑电路级的设计是十分困难的，因此往往需要把较大规模的系统划分为若干较小规模的小型数字电子系统（或称子系统），再对各个小型数字电子系统进行逻辑电路级的设计（逻辑电路级的设计是指选用具体的集成元器件并设计出正确的连接关系，以实现逻辑要求）。

数字电子系统可分为两大类——同步数字电子系统和异步数字电子系统。目前异步数字电子系统还没有统一规范的设计方法，主要采用模块设计法，即依靠经验，采用试凑的方法。此外，还包括寄存器传输语言 RTL（Register Transfer Language）设计法、ASM（Algorithmic State Machine）图设计法、MDS（Mnemonic Documented State）图设计法、MCU 图设计法等。

## 3. 模拟—数字混合电子系统

包含模拟电路和数字电路的系统称为混合型电子系统。目前，在大多数仪器仪表和过程控制中，都采用模拟—数字混合电子系统实现其功能。利用集成电路，如集成运算放大器、比较器、A/D 转换器、D/A 转换器、F/V 转换器、V/F 转换器等，并采用微处理器，组成功能强大的应用系统。

图 1-2 给出了一个液体点滴速度监测与控制装置原理框图。这是一个以单片机为主控制器，适当扩展外围电路，完成液体点滴速度监控的应用电子系统。系统通过传感器将液体液位和点滴速度采集成可供测量的电压量，经放大、滤波等调理后，由 A/D 转换器转换成数字量输入单片机，单片机数据处理控制软件根据一定的算法给出电机控制指令，用以调节点滴速度，在速度超出设定范围或者液面低于设定值时给出声光报警指示信号。单片机通过键盘设置速度和液位阈值，并将采集信息通过 LED 或 LCD 显示出来。该系统结构简单，测量精度高，是一个较典型的模拟—数字混合型电子系统。

## 4. 微处理器（单片机、嵌入式）系统

嵌入式系统源于计算机的嵌入式应用，早期嵌入式系统是通用计算机经改装后嵌入到对象体系中的各种电子系统，如舰船的自动驾驶仪，轮机监测系统等。嵌入式系统首先是一个

计算机系统，其次它被嵌入到对象体系中，在对象体系中实现对象要求的数据采集、处理、状态显示、输出控制等功能。由于是嵌入在对象体系中，因此嵌入式系统的计算机没有计算机的独立形式及功能。单片机完全是按照嵌入式系统要求设计的，因此单片机是最典型的嵌入式系统。早期的单片机只是按嵌入式应用技术要求设计的计算机单芯片集成，故名单片机。随后，单片机为满足嵌入式应用要求，不断增强其控制功能与外围接口功能，尤其突出控制功能，因此国际上已将单片机正名为微控制器（Microcontroller Unit, MCU）。

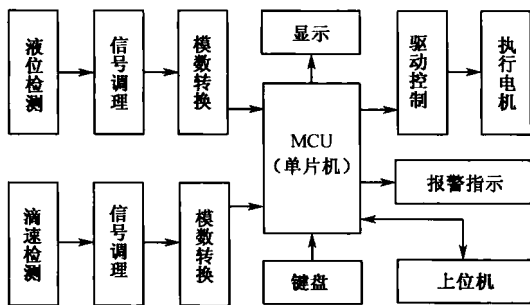


图 1-2 液体点滴速度监测与控制装置原理框图

## 5. DSP（数字信号处理）系统

现代大型、复杂的电子系统一般总是上述 5 种类型或前 4 种类型的集成，而一些简单的系统，可能就是其中的某一种。以硬件实现的 DSP 系统的设计可在掌握 DSP 的理论和算法的前提下，借助数字电子系统的设计方法完成；以软件实现的 DSP 系统的设计可在掌握 DSP 的理论和算法的前提下，借助微型计算机系统的程序设计方法和硬件配置方法完成；混合系统的设计可将模拟电子系统与数字电子系统的设计方法结合起来完成。从设计的角度来说，掌握了模拟电子系统、数字电子系统、微处理器系统的基本设计方法，就能够设计出复杂电子系统。

## 01.2 电子系统设计

设计是构思和创造以最佳方式将设想向现实转化的活动过程，一般指根据已经提出的技术设想，制订出具体、明确并付诸实施的方案，在一定条件下以当代先进技术满足社会需求为目标，寻求高效率、高质量完成产品研制的方法。

### 1.2.1 电子系统设计基本原则

在电子系统设计时一般应遵守如下基本原则。

#### (1) 满足系统功能和性能指标要求

好的设计必须能完全满足系统所要求的功能特性和技术指标，这是电子系统设计时必须满足的基本条件。

## (2) 电路简单

在满足功能和性能要求的情况下,简单的电路对系统来说不仅是经济的,同时也是可靠的,所以电路应尽量简单。值得注意的是,系统集成技术是简化电子系统电路的最好方法。

## (3) 电磁兼容性好

电磁兼容特性是现代电子系统应具备的基本特性。实际电子系统设计时,设计的结果必须能满足给定的电磁兼容条件,以确保系统正常工作。

## (4) 可靠性高

电子系统的可靠性要求与系统的实际用途、使用环境等因素有关。任何一种工业系统的可靠性都是以概率统计为基础的,因此电子系统的可靠性只能是一种定性估计,所得到的结果也只能是具有统计意义的数值。实际上,电子系统可靠性计算方法和计算结果与设计人员的实际经验有相当大的关系,设计人员应当注意积累经验,以提高可靠性设计的水平。

## (5) 系统集成度高

最大限度地提高集成度,是电子系统设计应当遵循的一个重要原则。高集成度的电子系统,必然具有电磁兼容性好、可靠性高、制造工艺简单、质量容易控制及性能价格比高等一系列优点。

## (6) 调试简单方便

这要求电子系统设计者在设计电路时,必须考虑调试的问题。如果一个电子系统不易调试或调试点过多,则这个系统的质量是难以保证的。

## (7) 生产工艺简单

生产工艺是电子系统设计者应当考虑的另一个重要问题,无论是批量产品还是样品,生产工艺对电路的制作与调试都是相当重要的一个环节。

## (8) 操作简便

操作简便现代电子系统的重要特征,难以操作的系统是没有生命力的。

## 1.2.2 电子系统设计的基本内容

通常所说的电子系统设计,一般包括拟定性能指标、电子系统的预设计、试验和修改设计等环节。分为方案论证、初步设计、技术设计、试制与实验、设计定型5个阶段。衡量设计的标准是工作稳定可靠,能达到所要求的性能目标,并且留有适当的余量;电路简单,成本低;所采用的元器件品种少、体积小,并且货源充足,便于生产、测试和维修。

电子系统设计的基本内容包括:

- 明确电子系统设计的技术条件(任务书);
- 选择电源的种类;
- 确定负荷容量(功耗);
- 设计电路原理图、接线图、安装图、装配图;
- 选择电子、电气元器件及执行元器件,制订电子、电气元器件明细表;
- 画出电机、执行元器件、控制部件及检测元器件总布局图;
- 设计机箱、面板、印制电路板、接线板及非标准电气元器件和专用安装零件;

- 编写设计文档。

如果进行产品设计,则还应该包括结构与工艺设计,即整机组装结构设计、热设计、结构的静力与动力计算、电磁兼容性结构设计、连接设计、人机工程学设计等内容。因此,电子系统设计是一个非常复杂的过程。

### 1.2.3 电子系统设计的一般方法

#### 1. 自底向上法 (Bottom-Up)

自底向上法是根据要实现的系统功能要求,首先从现有的可用元器件中选出合适的元器件,设计成一个个部件。当一个部件不能直接实现系统的某个功能时,就需要设计由多个部件组成的子系统去实现该功能。上述过程一直进行到系统要求的全部功能都实现为止。该方法的优点是可以继承使用经过验证、成熟的部件与子系统,从而可以实现设计重用,减少设计的重复劳动,提高设计效率。其缺点是设计过程中设计人员的思想受限于现有可用的元器件,故不容易实现系统化的、清晰易懂的、可靠性高的和维护性好的设计。一般应用于小规模电子系统设计及组装与测试中。

#### 2. 自顶向下法 (Top-Down)

该设计方法首先从系统级设计开始。系统级的设计任务是根据原始设计指标或用户的需求,将系统的功能全面、准确地描述出来,即将系统的输入/输出(I/O)关系全面准确地描述出来,然后进行子系统级的设计。具体地讲,就是根据系统级设计所描述的功能,将系统划分和定义为一个个适当的,能够实现某一功能的相对独立的子系统。每个子系统的功能(即输入/输出关系)必须全面、准确地描述出来,子系统之间的联系也必须全面、准确地描述出来。例如,移动电话应有收信和发信的功能,必须分别安排一个接收机子系统和一个发射机子系统,还必须安排一个微处理器作为内务管理和用户操作界面管理子系统,此外天线和电源等子系统也必不可少。子系统的划分定义和互连完成后,从下级部件向上级部件进行设计,即设计或者选用一些部件去组成实现既定功能的子系统。部件级的设计完成后再进行最后的元器件级的设计,选用适当的元器件去实现该功能。

自顶向下法是一种概念驱动的设计方法。该方法要求在整个设计过程中尽量运用概念(即抽象)去描述和分析设计对象,而不要过早地考虑实现该设计的具体电路、元器件和工艺,以便抓住主要矛盾,避开具体细节,这样才能控制住设计的复杂性。整个设计在概念上的演化从顶层到底层应当由概括到展开、由粗略到精细。只有当整个设计在概念上得到了验证与优化后,才能考虑“采用什么电路、元器件和工艺去实现该设计”这类具体问题。此外,设计人员在运用该方法时还必须遵循下列原则:① 正确性和完备性原则;② 模块化、结构化原则;③ 问题不下放原则;④ 高层主导原则;⑤ 直观性、清晰性原则。

#### 3. 以自顶向下法为主导,并结合使用自底向上法 (TD&BU Combined)

近代的电子系统设计中,为实现设计可以重复使用并对系统进行模块化测试,通常以自顶向下法为主导,并结合使用自底向上法。这种方法既能保证实现系统化的、清晰易懂的、可靠性高的、可维护性好的设计,又能减少设计的重复劳动,提高设计效率。这对于以 IP

核为基础的 VLSI 片上系统的设计特别重要，因而得到普遍应用。

进行一项大型的、复杂的系统设计，实际上是一个自顶向下的过程，是一个上下多次反复进行修改的过程。

### 1.3 模拟电子系统设计流程

模拟电子系统设计流程如图 1-3 所示。由于模拟电子系统种类较多，设计步骤将因不同功能的系统而有所差异，因此图 1-3 中所列环节将要交叉进行，甚至出现多次反复。

#### (1) 系统描述和分析

设计一个电子系统首先要明确设计任务，认真分析设计要求，深入了解系统的功能、性能指标和使用条件，完整、清晰地对系统的各项功能要求和技术性能指标进行更具体、更详细的描述，以作为系统设计的原始依据。

#### (2) 总体方案的设计与选择

根据设计任务、要求和条件，分析电路的总体功能，并将其分解成若干单元功能，形成总体设计方案，画出总体设计原理框图。框图必须正确反映系统应完成的任务和各组成部分的功能，清楚表示系统的基本组成和相互关系。一般一个系统有多个设计方案，设计者应仔细分析、比较各方案的优缺点，择优选用。

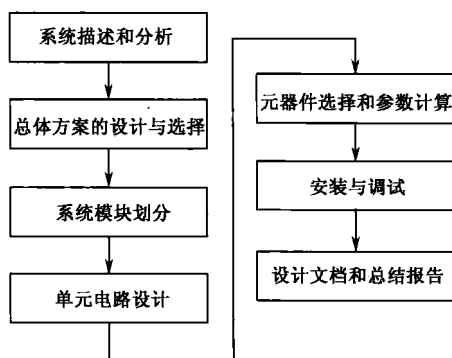


图 1-3 模拟电子系统设计流程

方案论证要敢于探索，勇于创新，力争做到设计方案合理、可靠、经济、功能齐全、技术先进。方案设计与选择必须优先考虑以下问题。

- ① 原理的可行性：解决一个问题，可能有许多种方法，但有的方法是不能达到设计要求的，千万要注意。
- ② 元器件的可行性：如采用什么元器件、什么微控制器、什么可编程逻辑器件，能否采购得到？
- ③ 测试的可行性：有无所需要的测量仪器仪表？
- ④ 设计、制作的可行性：难度如何，如何积累？
- ⑤ 时间的可行性：研制周期多长？



### (3) 系统模块划分

根据总体设计方案将系统划分为若干个功能模块，并确定各模块间的接口参数。

### (4) 单元电路设计

确定单元电路的功能及性能指标、与前后级之间的关系，并分析单元电路的工作原理，然后选择设计单元电路的结构形式。可以通过查找资料，寻找现成的电路，或者相近电路，再调整电路参数。若没有，则需设计新的电路。要注意，各单元电路间的相互配合，尽量减少元器件的数量、类型、电平转换和接口电路，以使电路简单可靠。

### (5) 元器件选择和参数计算

单元电路的结构形式确定后，需要进行电路参数的计算。参数计算包括放大电路中各电阻值、放大倍数的计算，振荡器中电阻、电容、振荡频率等参数的计算。只有很好地理解电路的工作原理，正确利用计算公式，计算的参数才能满足设计要求。参数计算时，同一个电路可能有几组数据，注意选择一组能完成电路设计所要求的功能、在实践中真正可行的参数。

计算电路参数时应注意下列问题：

- 元器件的工作电流、电压、频率和功耗等参数应能满足电路指标的要求；
- 元器件的极限参数必须留有足够充裕量，一般应大于额定值的 1.5 倍；
- 对于环境温度、交流电网电压等工作条件应按最不利的情况考虑；
- 选用的元器件参数值都必须采用计算值附近的标称值。

根据电路的需要、元器件的参数要求、供货渠道和使用的方便性等方面来选择元器件，一般优先选择集成电路。

① 阻容元器件的选择：不同的电路对电阻和电容的性能要求也不同，有些电路对电容的漏电要求很严；还有些电路对电阻、电容的性能和容量要求很高。例如，滤波电路中常用大容量（100~3000 $\mu$ F）铝电解电容，为滤掉高频通常还需并联小容量（0.01~0.1 $\mu$ F）瓷片电容。设计时要根据电路的要求选择性能和参数合适的阻容元器件，并要注意功耗、容量、频率和耐压范围是否满足要求。

② 分立元器件的选择：分立元器件包括二极管、晶体三极管、场效应管、光电二（三）极管、晶闸管等。根据其用途分别进行选择。例如，选择晶体三极管时，首先注意选择 NPN 型还是 PNP 型管，高频管还是低频管，大功率管还是小功率管，并且注意管子的参数  $P_{CM}$ 、 $I_{CM}$ 、 $V_{CEO}$ 、 $I_{BCO}$ 、 $\beta$ 、 $f_T$  和  $f_\beta$  是否满足电路设计指标的要求；高频工作时，要求  $f_T = (5 \sim 10)f$ ， $f$  为工作频率。

③ 集成电路的选择：由于集成电路可以实现很多单元电路甚至整机电路的功能，所以选用集成电路来设计单元电路和总体电路既方便又灵活，它不仅使系统体积缩小，而且性能可靠，便于调试及运用。集成电路有模拟集成电路和数字集成电路之分。选择的集成电路不仅要在功能和特性上实现设计方案，而且还要满足功耗、电压、速度、价格等多方面的要求。

### (6) 安装与调试

方案论证和单元电路硬件设计之后，紧接着就是设计制作印制电路板。对于数字部分，因为频率较低，可以利用现代软件技术直接排版。对于模拟部分，特别是高频部分，需要考虑抗干扰问题，既要考虑抗外部干扰，又要考虑抗内部干扰；既要考虑模电自身的相互干扰，又要考虑数电（脉冲信号）对模电部分的干扰。简单的系统或模块电路可用手工制作电路板。