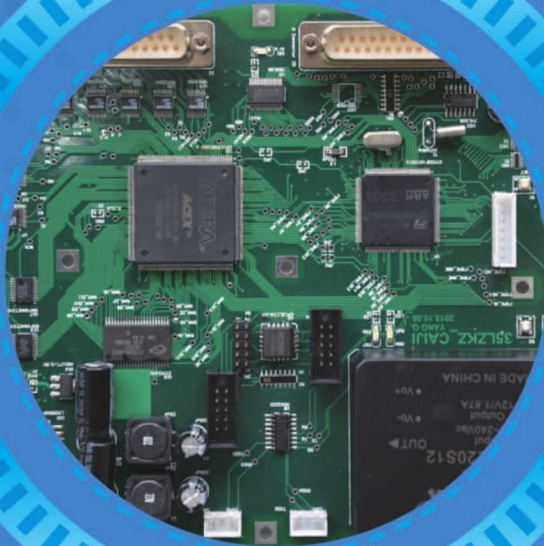


DIANZI XITONG SHEJI YU YINGYONG

电子系统

设计与应用

杨青 李鸣 付强◎主编



 河北科学技术出版社

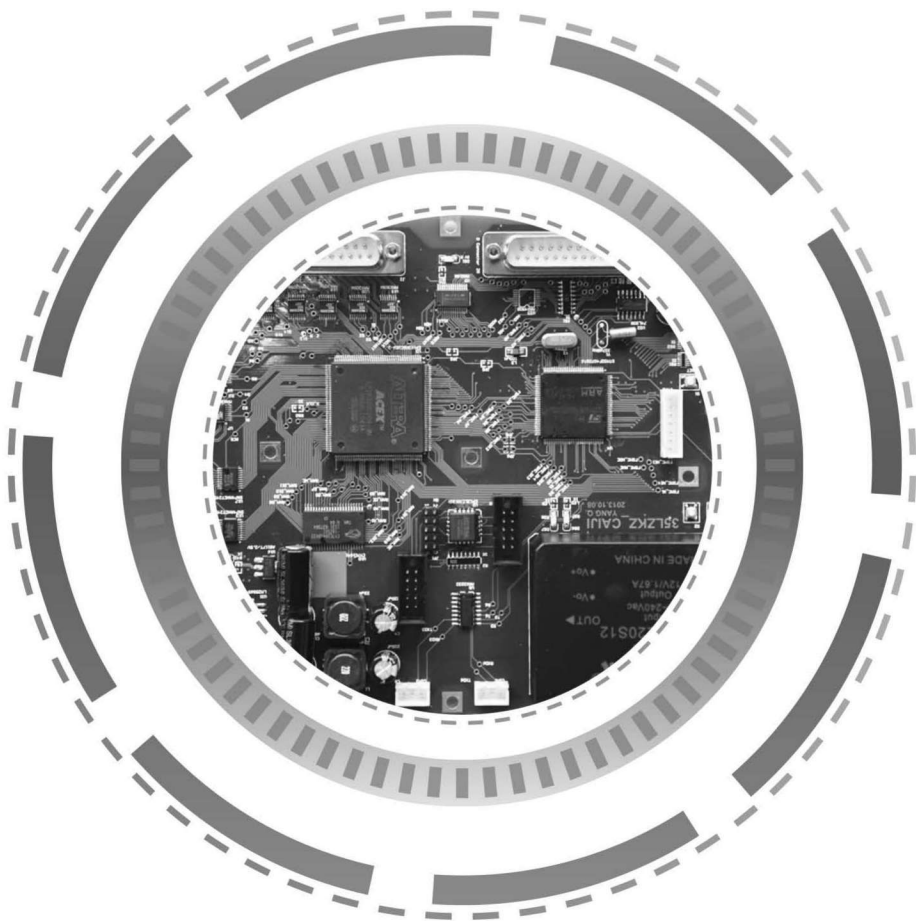
DIANZI XITONG SHEJI YU YINGYONG


电子系统



杨青 李鸣 付强◎主编

设计与应用



 河北科学技术出版社
· 石家庄 ·

主 编 杨 青 李 鸣 付 强
副主编 余伟涛 赵 喜 宋 瑶 田 阔 李志勇

图书在版编目 (C I P) 数据

电子系统设计与应用 / 杨青, 李鸣, 付强主编. --
石家庄 : 河北科学技术出版社, 2021. 6
ISBN 978 - 7 - 5717 - 0790 - 3

I. ①电… II. ①杨… ②李… ③付… III. ①电子系
统一系统设计—教材 IV. ①TN02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 097487 号

电子系统设计与应用

杨 青 李 鸣 付 强 主 编

出版发行 河北科学技术出版社
地 址 石家庄市友谊北大街 330 号 (邮编: 050061)
印 刷 石家庄燕赵创新印刷有限公司
经 销 新华书店
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 13.75
字 数 270 千字
版 次 2021 年 6 月第 1 版
印 次 2021 年 6 月第 1 次印刷
定 价 48.00 元

前 言

电子系统设计与分析已成为电子信息类专业技术人员应该具备的能力。随着现代电子技术的发展，电子系统的设计方法与理念不断地更新，对相关专业的教学与相关领域的科研要求也不断提高。本书从应用的角度出发，对电子系统设计的方法与过程进行了较为完整的梳理，通过大量设计实例对常见的设计方法进行了验证，内容翔实，便于阅读，具有指导性。

本书主要介绍电子系统设计的方法与常见问题，着重介绍基于单片机和FPGA的系统设计方法与应用实例。全书共分六章，第一章介绍电子系统设计的方法、步骤及常见工程问题；第二章介绍常用电子元器件的相关知识；第三章介绍在电子系统设计过程中常用到的软件工具；第四章介绍基于单片机的系统设计方法与应用；第五章介绍基于FPGA的系统设计方法与应用；第六章介绍典型开发实例。

本书各章节内容之间相对独立，便于读者选择阅读和学习。

本书是编者结合近几年在教学科研过程中积累的经验与成果编写的，书中的实例都是可以按相关描述实现的，读者也可参考其思路采用不同的方法进行实践。

本书可作为相关课程的教材，也适用于本科生步入工作岗位前的实践训练用书，并可作为大学生电子设计竞赛和有关技术人员的参考用书。由于编著者的学识水平有限，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

目 录

第 1 章 电子系统设计基础	(1)
1.1 电子系统设计概述	(1)
1.1.1 电子系统中信号的处理方式与特点	(1)
1.1.2 电子系统的基本概述	(3)
1.2 电子系统设计的方法	(5)
1.2.1 电子系统设计的方法	(5)
1.2.2 电子系统设计的一般原则	(6)
1.2.3 电子系统设计的步骤	(7)
1.3 电子系统的组装与调试	(10)
1.3.1 电子系统的组装	(10)
1.3.2 电子系统的调试	(11)
1.4 电子系统中的工程问题	(14)
1.4.1 电子系统中的抗干扰设计	(14)
1.4.2 电子系统的可靠性设计	(18)
第 2 章 常用电子元器件	(20)
2.1 常用电子元器件概述	(20)
2.2 无源器件	(21)
2.2.1 电阻器	(21)
2.2.2 电位器	(26)
2.2.3 电容器	(28)
2.2.4 电感器	(31)
2.3 有源器件	(34)
2.3.1 半导体器件	(34)
2.3.2 集成电路	(40)
第 3 章 常用设计工具	(53)
3.1 电子线路设计软件 Altium Designer	(53)
3.1.1 Altium Designer 的主要性能	(54)
3.1.2 Altium Designer 预备知识	(56)

3.1.3	Altium Designer 设计管理器	(63)
3.1.4	Altium Designer 原理图设计系统	(63)
3.1.5	Altium Designer 电路原理图设计及 PCB 设计	(65)
3.2	单片机集成开发环境	(69)
3.2.1	Keil C51 应用简介	(69)
3.2.2	Keil 软件的安装	(69)
3.2.3	Keil 软件的基本操作流程	(74)
3.2.4	Keil 软件调试技巧	(79)
3.3	可编程逻辑器件集成开发环境	(82)
3.3.1	Quartus II 集成开发环境	(83)
3.3.2	Quartus II 软件开发使用	(85)
第4章	单片机系统设计	(95)
4.1	概述	(95)
4.1.1	单片机的发展历史	(95)
4.1.2	51 系列单片机	(96)
4.1.3	单片机的实际应用	(98)
4.2	单片机最小应用系统	(98)
4.2.1	单片机引脚及功能	(98)
4.2.2	单片机的 CPU	(100)
4.2.3	单片机存储器结构	(103)
4.2.4	时钟电路	(107)
4.2.5	复位电路	(108)
4.3	单片机接口设计与应用	(109)
4.3.1	并行 I/O 端口	(109)
4.3.2	中断系统	(118)
4.3.3	定时/计数器	(125)
4.3.4	串行通信接口	(133)
4.3.5	键盘输入	(143)
第5章	可编程逻辑器件系统设计	(150)
5.1	可编程逻辑器件的基本原理	(150)
5.1.1	可编程逻辑器件概述	(150)
5.1.2	可编程逻辑器件的基本结构	(153)
5.1.3	Altera 公司的 CPLD 器件介绍	(154)
5.1.4	Altera 公司的 FPGA 器件介绍	(156)

5.2 可编程逻辑器件开发工具的应用	(160)
5.2.1 文本输入设计法	(160)
5.2.2 原理图输入设计法	(161)
5.2.3 Verilog HDL 设计	(165)
5.3 可编程逻辑器件系统设计开发实例	(175)
5.3.1 流水灯实验	(175)
5.3.2 按键控制 LED 灯实验	(178)
5.3.3 按键控制蜂鸣器实验	(182)
5.3.4 静态数码管显示实验	(188)
第 6 章 电子系统设计开发实例	(196)
6.1 基于单片机的 PC104 总线控制器的设计	(196)
6.1.1 STM32F103 简介	(196)
6.1.2 硬件设计原理	(197)
6.1.3 总线时序及软件设计	(199)
6.2 基于单片机与 FPGA 的数据采集系统设计	(203)
6.2.1 系统总体设计	(203)
6.2.2 PPI 数据采集模块设计	(204)
6.2.3 采集控制与复现模块设计	(207)
参考文献	(211)

第 1 章 电子系统设计基础

由电子元器件或部件组成的能够产生、传输、采集或处理电信号及信息的客观实体称之为电子系统。对电子系统进行设计，首先要了解电子系统的基本概念与组成，掌握电子系统设计的方法、步骤、组装与调试方法以及在设计过程中常见的工程问题。

1.1 电子系统设计概述

1.1.1 电子系统中信号的处理方式与特点

1.1.1.1 电子系统中信号的处理方式

电子系统中的电信号可分为模拟信号和数字信号，电子系统可分为模拟系统和数字系统，其中信号的处理方式主要分为模拟信号和数字信号的处理方式。

(1) 模拟信号。

模拟信号 (Analog Signal) 是与离散的数字信号相对的，在幅值和时间上都是连续变化的信号，例如现实生活中的电压信号、电流信号、温度信号等。

(2) 数字信号。

数字信号 (Digital Signal) 是离散时间信号 (Discrete - Time Signal) 的数字化表示，通常可由模拟信号 (Analog Signal) 经过模/数 (Analog to Digital) 采样获得，在时间上是离散的。例如，可以被计算机、微处理器等直接处理的信号。

(3) 信号处理的方式。

在电子设备中，电信号是信息的载体，信息则反映系统的特征。一方面，可用频谱仪进行信号分析，了解其频谱分布、噪声、杂散等，从而加深对信号特性的理解；另一方面，可对信号进行处理，即改变信号的某些特性来满足要求，因此，信号处理是对信号进行提取、变换、分析、综合等处理过程的统称。

信号处理主要包括：

- 1) 分离信号和噪声，提高信噪比。
- 2) 从信号中提取有用的特征信息。
- 3) 修正测试系统的某些误差，如传感器的线性误差、温度影响等。
- 4) 把信号转变为易于输出、传输的信号，如信号放大、调制和解调等。

信号处理分为模拟和数字两种方式，模拟信号处理直接对连续信号进行分析处理

的过程，是利用一定的数学模型所组成的运算网络来实现的；数字信号处理则是采用数值计算的方法对信号进行处理。比如控制系统，前者使用集成运算放大器及 R、L、C 电路元件来构成 PID 调节器，从而实现信号的提取和处理；后者采用模拟信号的数字化方式来进行数字的 PID 调节，如图 1-1 数字信号处理方式所示。



图 1-1 数字信号处理方式

首先模拟信号输入，经过信号调理（Signal Conditioning）去噪、整形处理后，达到理想的模拟信号；然后进行模/数转换，将模拟信号通过 A/D 模块变为数字量输入 DSP 等微处理器进行相关的数字算法处理，一方面可用于数据传输（Data Transmission），另一方面可通过 D/A 输出，再经过信号滤波（Filter）和功率放大后作为系统输出。

1.1.1.2 信号处理的特点

模拟信号与数字信号处理方式在电子系统中具有各自的特点，模拟信号具有实时性高、高频信号处理能力强等优点，但是相比数字信号处理而言，抗干扰、可靠性等方面就会差些。下面以数字信号处理的特点为例，阐述两种信号处理方式的优缺点。

(1) 数字信号处理的优点。

数字信号处理伴随数字系统的发展从 20 世纪 40 年代开始，发展历史并不长，它具有数字系统的一些共同优点，例如抗干扰、可靠性强、便于大规模集成等。与传统的模拟信号处理方法相比较，它具有以下优点。

1) 灵活性高。

模拟系统：需要修改硬件设计或调整硬件参数。

数字系统：只需要改变软件参数设置。

以滤波器的设计为例：对于模拟滤波器，若要改变滤波器的参数，则需要改变元器件的值，或是改变运放的工作状态；对于数字滤波器，只需要改变程序的参数就可以了。由此可明显看出，数字处理系统的灵活性更高。

2) 精度高。

模拟系统的精度严重依赖于元器件精度，但元器件都有很大的离散性，因此构成的系统误差较大。

数字系统的精度依赖于 A/D 转换的位数、计算机字长及相关的算法。这样不仅可以估算出所设计系统的精度，还可以采用适当的处理方式来提高其处理精度。

3) 可靠性高，可重复性好。

模拟系统受环境温度、噪声、电磁场等影响较大，即使两个设计参数完全相同的运算放大器，在输入同源的情况下其输出也会不同；但数字系统不同，在任何时间、任何地点、任何环境下，只要系统工作正常，那么计算结果肯定相同。

(2) 数字信号处理的缺点。

尽管数字信号处理有其明显的优势，但不能说明模拟信号处理能够被完全替代。例如在乘法器的设计中，如果原始数据和所需要的输出均为模拟形式，那么完成从模拟信号向数字信号转换所需要的模/数转换器和数/模转换器的成本及其复杂程度通常会超过模拟乘法器设计本身。数字信号处理的劣势体现在如下几个方面。

1) 实时性差。

数字系统由计算机的处理速度决定。尽管计算机技术不断发展，处理速度也得到了极大的提高，如 DSP，都是由一个系统时钟来决定它的一个机器周期。机器周期是 DSP 处理速度的最小单位。因此在要求实时性能极高的情况下，模拟系统不能够被完全替代。

2) 高频信号的处理。

模拟系统可处理很高的频率，包括微波信号、光信号；而数字系统必须按照奈奎斯特准则的要求，受模/数转换和处理速度的限制。对于高频信号的处理，目前使用数字系统是很难实现的。

3) 模拟与数字信号的转换。

现实世界的信号绝大部分是模拟的，例如温度、湿度、压力等通过相应的传感器转换成的电信号也是模拟的。要实现数字处理就必须要进行模/数转换，因此这部分处理电路也必须是模拟的，所以模拟处理的环节肯定不能被替代。

1.1.2 电子系统的基本概述

1.1.2.1 电子系统分类

在电子设备中，可以完成一个特定功能的完整的电子装置可称为电子系统。具体地说，通常将由电子元器件或部件组成的能够产生、传输、采集或处理电信号及信息的电子装置称为电子系统。

电子系统分为模拟型、数字型和两者兼而有之的混合型三种，无论哪一种电子系统，它们都是能够完成某种任务的电子设备。电子系统有大有小，大到航天飞机的测控系统，小到操作平台上的显示装置，都是电子系统在电子设备中的应用范例。

通常把规模较小、功能单一的电子系统称为单元电路，实际应用中的电子系统由若干单元电路构成。一般的电子系统由输入、输出、信息处理三大部分组成，用来实现对信息的采集处理、变换与传输功能。图 1-2 为电子系统基本组成框图。

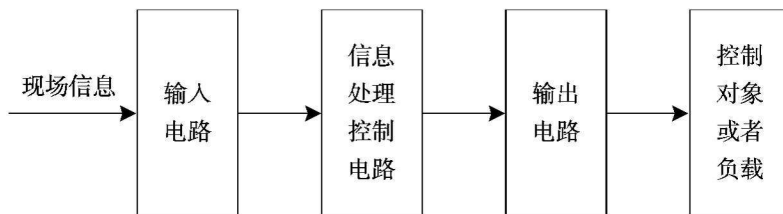


图 1-2 电子系统基本组成框图

现代电子系统设计的最大特点是变化大、发展快，新型元器件层出不穷，相应的电子设计工具和手段不断更新。所以电子系统设计者只有掌握电子技术的发展动态，与时俱进，不断学习，更新知识，才能适应电子技术发展的要求。

电子系统可认为是现代电子系统根据应用对象不同而划分出的一个分支。它的分类依据有多种，根据核心控制方式的不同分为非智能型系统和智能型系统。前者功能简单且单一；后者具有接收信息的能力，并根据信息进行分析、判断、决策和控制操作的能力。一般将以 CPU 为核心、软硬件结合的电子系统称为智能型系统。

根据系统实现的功能，可以将其分为测控系统、测量系统、数据处理系统、通信系统、计算机系统等。一般情况下，大部分电子设备按照其功能都可认为由这几大部分系统组成。

电子系统也可分为模拟系统、数字系统或者模数混合系统。

若按软硬件划分的话，可分为纯硬件系统和软硬件结合系统等。

1.1.2.2 电子系统组成

实现电子系统的器件可分为：①中大规模或超大规模集成电路；②专用集成电路；③可编程器件；④少量分立元件和机电元件。

电子系统按照自顶向下可分为系统级、子系统级、部件级和元件级。总的来说，一个完整复杂的电子系统由若干个子系统构成；每个子系统由各功能模块组成，各功能模块最终由元器件实现，如图 1-3 所示。对于子系统可分为 5 种基本类型，分别是模拟子系统、数字子系统、模/数混合子系统、微机子系统和 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。

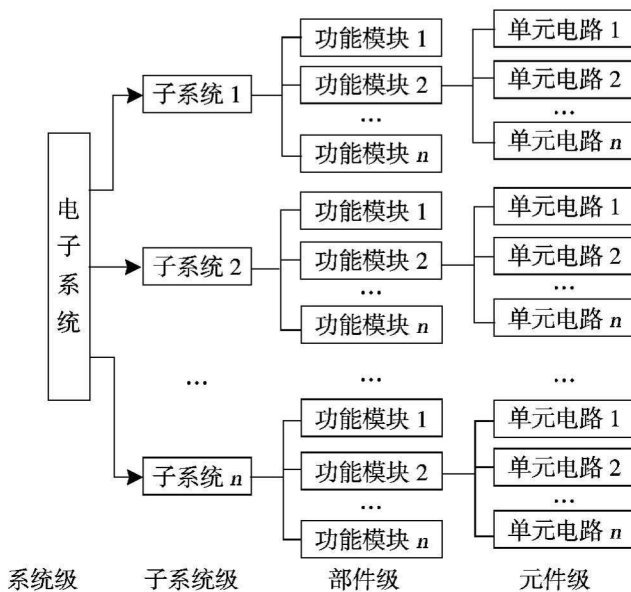


图 1-3 信号处理系统组成示意图

图1-4为闭环控制下电子系统组成电路的示意图。从图中可知，电子系统主要由传感器、信号调理电路、处理决策电路以及执行电路组成。这四部分的作用分别是转换、调理、处理和控制在其中，传感器采集控制对象的物理量信息并将其转换为电量，此时信号为模拟信号，信号调理电路将该模拟信号进行放大、滤波、整形以及转换，经过信号调理电路输出的信号转换为数字信号，可由微处理器等组成的处理决策电路进行计算、处理，进而通过执行电路将数字信号转换成模拟信号并进行放大驱动控制对象（负载）执行对应动作，将电信号转换为物理量，同时传感器继续采集控制对象的物理量，实现对控制对象的闭环控制。



图1-4 闭环控制下电子系统组成电路示意图

1.2 电子系统设计的方法

1.2.1 电子系统设计的方法

电子系统设计的方法一般是比较复杂的，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（Top to Down）、自底向上法（Bottom to Up）和组合法（TD & Bu Combined）。

（1）自顶向下法。

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、复杂的系统设计。

（2）自底向上法。

根据要实现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。

结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。这样既可进行复杂系统设计，

又能充分利用成熟技术，提高设计效率。

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

以一个典型的电子测量系统为例，完整的功能模块的结构组成如图 1-5。

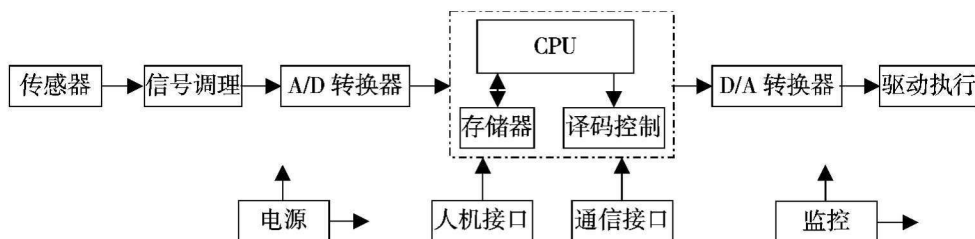


图 1-5 信号测试与处理系统

在图 1-5 所示系统中，该系统要完成的功能是对物理量进行测量和处理。根据系统功能可将系统分为 3 个子系统：信号采集、信号处理、系统输出。信号采集子系统分为传感器、信号调理、A/D 转换功能模块；信号处理子系统由 CPU（单片机/DSP/FPGA 等）及外围电路构成；信号输出子系统包括 D/A 转换、驱动执行（显示、下一级控制驱动等）。系统还应包含电源模块，为各子系统提供所需电源。监控系统主要对系统各部分工作状态进行检查和控制，确保系统工作正常。

各个功能模块都是由电子元器件具体实现的，可细分为不同的单元电路。该系统的设计可以在提出技术指标后，进行子系统及各功能模块划分，然后设计单元电路，即自顶向下设计；设计中可以尽量采用已有的成熟单元电路，即自底向上设计。

1.2.2 电子系统设计的一般原则

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) 安全性、可靠性和容错性。

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、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，例如，不会因人员操作失误而使整个系统无法工作，或因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。除此之外，还应包括子系统之间、子系统对主系统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，使系统易于维护。

1.2.3 电子系统设计的步骤

在实现电子系统之前必须按照需求对系统进行设计。严谨规范的设计可以使得系统在制作、调试时省时省力、节省成本，达到事半功倍的效果。一个完整的电子系统的设计流程如图1-6所示。

一般较为复杂的电子系统设计的具体步骤因实际电子系统要求的不同，可能会有所省略。按照图1-6说明如下。

(1) 应用需求分析。

首先对系统功能进行分析，确定完成功能的控制方式，待测信号、被控对象的性质、数量，明确系统的技术指标等。

系统技术指标包含技术参数、性能要求、测量控制精度及范围、工作环境及无故障工作时间等。

另外要了解进度计划要求，包括技术方案制订、样机开发、测试、鉴定、批量生产的周期需求等。

(2) 系统总体技术方案的提出。

根据技术的可能性提出各种可能实现的技术方案，系统结构，控制测量方法；部件、元件选择，关键电路；可能实现的功能和技术指标、时间和经济性等。

(3) 方案的可行性论证。

方案的可行性论证包括：系统设计的原则，择优选择方案保证技术先进性、可发展性；说明技术掌握程度、时间进度的安排、经费的来源及市场竞争能力等。

(4) 确定系统总体技术方案。

这是电子系统设计中必不可少的一个关键步骤。系统总体技术方案中必须认真制定翔实可行的技术路线，硬件方案和软件方案及相关技术文档等。

(5) 功能模块划分。

设计阶段一般分三个方面：硬件设计方面，含数字部分、模拟部分、PLD设计等内容；软件设计方面，含汇编程序、系统管理软件、数据库管理、操作界面与打印设计等内容；第三个方面为通信问题，包含通信方式、网络选择、通信软件等。

设计阶段完成后便为安装制作、调试、测试等方面任务的安排。

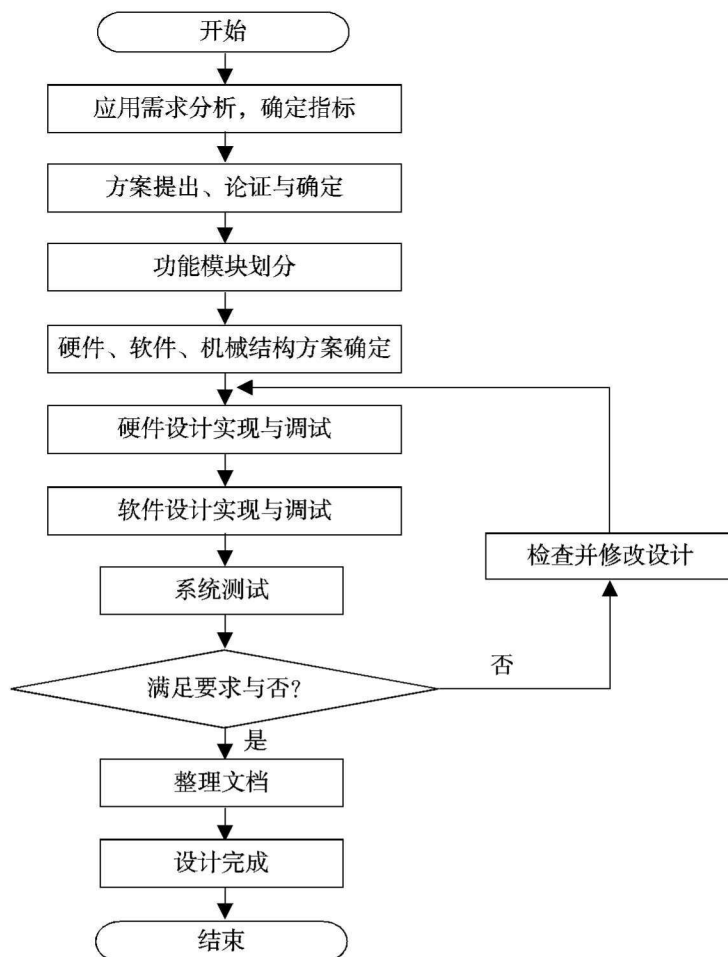


图 1-6 电子系统设计基本流程

(6) 系统的方案设计。

在确定了系统方案之后，进入设计阶段，系统设计包括以下内容。

1) 系统总体方案。系统总体方案应包含系统功能与技术指标，系统原理框架结构与功能实现的方法（硬件实现方法和软件实现方法），系统的测量方法，系统技术指标的保证措施，系统的可靠性与抗干扰能力的整体策略，以及项目进度规划安排等内容。

2) 系统硬件方案。在系统硬件方案设计中，需要确定硬件系统构成方式。对于功能较为简单的电子系统，可以采用单机系统实现；而功能复杂的电子系统则可以考虑多级系统协作完成系统任务。

对于硬件系统结构的选择，可以根据系统结构、复杂性、外设数量、驱动能力、兼容能力及可扩展能力要求来确定硬件系统结构为单板结构还是总线模板结构，后者的兼容能力及可扩展能力都要强于前者。另外需要对相关的现场设备进行选择，如传感器、执行结构、显示设备等设备的选用。

3) 系统机械结构。一个成功的电子系统,除了有一个软硬件方案之外,还应注重系统机械结构的设计。需要考虑机箱的美观、实用性,机架的牢固、易安装性。同时要考虑系统的接地方式、接线方式要方便可靠,人机操作要简单、方便、快捷,操作界面清晰醒目,容易接受。

4) 系统软件方案。电子系统的功能性、可靠性、可升级性等指标很大程度上都依赖于系统软件的性能。因此在系统软件方案中首先要设计软件架构框图,需要对数据库结构、操作方式、系统通信方式、控制算法、数据处理算法、优化算法、错误处理等一系列因素进行认真设计,才能确保电子系统的设计目标的实现。

(7) 系统硬件的设计与实现。

对于现代电子系统的设计,离不开嵌入式微处理器的应用。在设计初期就需要对处理器的类型、总线的方式等做出选择。另外还有存储器的设计、接口器件的选择与I/O通道的设计,输入/输出方式包括模拟输入、模拟输出、开关量输入、开关量输出等设计,还有传感器、变送器、执行结构的接口设计,还有中断系统的设计等诸多硬件设计因素需要考虑。这些因素对电子系统的性能质量有着举足轻重的影响,所以在设计过程中应充分全面地考虑,以免产生不良的设计缺陷。

(8) 系统软件的设计与实现。

一个包含微处理器的电子系统的正常运行离不开一套能正常运行的软件系统的支持。系统软件的设计应包含硬件驱动程序设计、功能模块设计和软件抗干扰设计等功能。其中硬件驱动程序设计、功能模块设计是实现系统功能的必不可少的部分,而软件抗干扰设计则是系统的稳定性、可靠性设计的需求。

(9) 系统的调试与运行。

当系统的硬件设计完成并实现之后,下一步就进入系统的调试阶段。本阶段包括硬件系统的功能仿真、软件系统的仿真、软硬件的在线联合调试以及系统运行调试等部分。在系统的不同开发阶段将会进行不同环境的调试。例如,在硬件系统没有实现之前,对于软件功能的仿真完全可以在相应的软件仿真环境上进行模拟仿真,或者也可以在开发试验台上先进行仿真。最后待硬件系统完备后方可进行在线联合调试以及系统运行调试工作。

系统的调试工作是整个电子系统设计过程中相当重要的步骤。设计的成败,调试工作有着举足轻重的作用。一般来说,调试工作和设计过程密不可分,往往需要交叉反复进行,反复修改验证,才可以达到设计的最佳要求。

(10) 系统测试。

系统测试作为电子系统开发的最后一个步骤,主要包含以下测试项目。

1) 系统功能测试,分为硬件测试和软件测试。

①硬件测试:功能实现,技术指标。

②软件测试：操作的方便性、容错性，模块功能，运行速度。

- 2) 系统参数及技术指标测试。
- 3) 系统的容错性测试。
- 4) 系统的可靠性测试。
- 5) 系统的电气安全性测试。
- 6) 系统的 EMC 测试。
- 7) 系统的机械特性测试。

在完成以上的电子系统测试项目并达到各项性能指标之后，方可交付用户，完成整个设计过程。

(11) 整理文档。

完整的电子系统设计必须包括规范的设计文件。正规文件必须按照相应的行业或国家标准执行并归档。完整的文档为设备升级、维护、技术参考、查询提供依据。

设计文件包括下列所示。

- 1) 建立文档编号，便于查询。
- 2) 设计任务书，提出设计要求和技术指标。
- 3) 方案论证报告，方案选择及可行性论证。
- 4) 技术图纸，包括电路图、连接图、装配图、元件清单、软件程序清单等。
- 5) 调试记录、更改说明。
- 6) 测试记录及结果。
- 7) 使用说明书。
- 8) 技术总结报告。

1.3 电子系统的组装与调试

一个性能优良、可靠性高的电子系统，除了先进合理的设计之外，高质量的组装与调试也是非常关键的环节，这里简要地介绍电子系统的组装与调试方法。

1.3.1 电子系统的组装

1.3.1.1 电路板焊接技术

焊接质量取决于焊接工具、焊料、助焊剂和焊接技术 4 个条件。

1) 焊接工具：电烙铁是焊接的主要工具，直接影响焊接质量。要根据不同的焊接对象选用不同功率的电烙铁。功率过小，焊锡丝不能充分融化，焊接不牢。功率过大，有可能焊脱电路板铜箔，损坏电路板。焊接普通电阻、电容和集成电路一般可选用 18 ~ 25 W 的电烙铁，元器件引脚较粗或焊接面积较大时可选用 45 W 或更大的电烙铁。焊接 CMOS 电路一般选用 20 W 内热式电烙铁，而且外壳要良好接地。若用外热式电烙