

电 工 电 子 实 践 系 列 教 材

电子设计 实践指南

浙江大学电工电子基础教学中心

阮秉涛 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

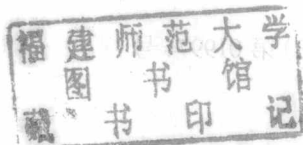
电工电子实践系列教材

电子设计实践指南

Dianzi Sheji Shijian Zhinan

浙江大学电工电子基础教学中心

阮秉涛 编



1088988



T1088988



高等教育出版社·北京

HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书是编者根据多年教学科研的实践经验和指导学生参加大学生电子设计竞赛经验,查阅大量中外文献资料和数据手册编写而成。主要介绍了电子系统设计导论、前向通道设计、主控电路设计、后向通道设计、辅助电路设计、电子系统抗干扰设计、电子系统的安装与调试、设计总结报告的编写、电子系统设计示例,给读者提供了一个完整的电子系统的设计方法,使读者能在已有理论知识基础上,方便地构建出一个具有实际应用价值的电子系统。

本教材既可作为高等院校电子设计实践的教学用书,也可作为参加全国大学生电子设计竞赛的培训教材。

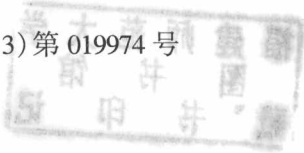
图书在版编目(CIP)数据

电子设计实践指南/阮秉涛编.--北京:高等教育出版社,2013.3

ISBN 978-7-04-036910-6

I. ①电… II. ①阮… III. ①电子电路-电路设计-高等学校-教材 IV. ①TN702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 019974 号



策划编辑 王勇莉	责任编辑 王勇莉	封面设计 李卫青	版式设计 杜微言
插图绘制 尹莉	责任校对 刘丽娴	责任印制 田甜	

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	廊坊市科通印业有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.landaco.com.cn
印 张	25	版 次	2013 年 3 月第 1 版
字 数	610 千字	印 次	2013 年 3 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	38.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 36910-00

前 言

随着 21 世纪的到来,人类社会已进入一个电子与信息的时代,人们的生产和生活都离不开电子信息技术和电子信息产品。从工业到农业,从医疗到交通,从商业到娱乐,又有哪一个方面可以脱离开电子信息技术和电子信息产品呢?这就要求工作于电子和信息领域的工作者,或有志并即将工作于电子和信息领域的学生,努力学会并掌握电子系统的设计与开发的方法。

本书以一个典型的测量控制型的电子系统为例,为读者提供了一个完整的电子系统的设计方法和设计过程,使读者能在已有理论知识基础上,构建一个实际应用的电子系统。本书选材内容从应用角度出发,介绍常用器件参数的工程含义、典型应用,以及不同器件、不同单元电路在实际应用中的比较和选择,为读者从器件入手构成单元电路,转而由单元电路构成电子系统提供设计思想。

本书是编者根据多年教学科研的实践经验和指导学生参加大学生电子设计竞赛经验,并查阅大量中外文献资料和数据手册编写而成,本书具有以下特色:

1. 内容上含盖了高校电子类专业本科四年主要的电类基础课程,并将相关知识做了串联和融合。

2. 注重四个结合,即:理论与实践的结合,基础知识与综合能力的结合,电子技术基础内容 with 专业内容的结合,传统器件与新型器件应用的结合。

3. 结构上采用自上而下的模块设计思想,将电子系统的设计内容从系统、电路,到器件逐步分解,有利于读者设计能力与综合能力的提高。

4. 本书循序渐进、深入浅出地介绍了常用器件和单元电路,并将相关知识贯穿在全书的综合性设计实例中。

5. 全书内容精练,实用性强,既是电子系统设计的入门型教材,也可作工程设计人员的设计参考手册。

全书共分九章:

第 1 章 电子系统设计导论:介绍电子系统的组成、分类,以及电子系统设计的方法与设计过程。

第 2 章 前向通道设计:介绍电子系统前向通道的结构形式、设计特点、设计内容,以及设计的主要环节,包括常用传感器、信号放大与变换电路、信号的模数转换电路等。

第 3 章 主控电路设计:介绍电子系统主控电路的构成,包括常用标准逻辑器件的选用,可编程逻辑器件的初步应用,以及单片机系统的组成与扩展方法等。

第 4 章 后向通道设计:介绍电子系统后向通道结构形式、设计内容,以及设计的主要环节,包括信号的数模转换、功率驱动和执行机构等。

第 5 章 辅助电路设计:介绍信号发生电路、直流稳压电源电路和电压基准电路的设计。

第 6 章 电子系统抗干扰设计:介绍电子系统中干扰产生的原因、干扰侵入的渠道,以及电子系统的硬件和软件抗干扰设计等。

第7章 电子系统的安装与调试:介绍电子系统的安装方法、调试方法、数据读取及分析处理方法。

第8章 设计总结报告的编写:介绍设计总结报告的编写方法,包括内容的要求和排版的要求等。

第9章 电子系统设计示例:例举了5个典型的电子系统设计实例,并针对其设计任务与要求给出了相关的方案论证。

本书由北京交通大学侯建军教授主审、浙江大学王小海教授校审,他们在百忙之中仔细认真、逐字逐句地审阅了全部书稿,并提出许多宝贵的修改意见,在此表示诚挚的感谢。本书在编写过程中还得到浙江大学电气工程学院郑家龙教授、樊伟敏高工的热心指导,在此对他们给予的关心和支持也一并表示感谢。

尽管编者对全书体系和内容作了许多努力,但由于时间和水平所限,难免还存在不少不足和错误,恳请广大读者给予批评指正,以便今后加以改正。

编 者

2012年10月于杭州

目 录

第1章 电子系统设计导论 1

1.1 电子系统的组成与类型 1

1.1.1 电子系统的组成 1

1.1.2 电子系统的类型 2

1.2 电子系统设计方法与过程 4

1.2.1 电子系统的设计方法 4

1.2.2 电子系统的设计过程 6

1.3 总体方案论证实例 12

1.3.1 设计任务与要求 12

1.3.2 总体设计 12

1.3.3 扩展功能方案论证 16

第2章 前向通道设计 19

2.1 概述 19

2.1.1 前向通道结构形式 19

2.1.2 前向通道设计特点 20

2.1.3 前向通道设计内容 21

2.2 传感器 21

2.2.1 传感器组成与分类 21

2.2.2 传感器主要参数 22

2.2.3 力传感器 24

2.2.4 光传感器 24

2.2.5 温度传感器 30

2.2.6 磁性传感器 36

2.2.7 超声波传感器 40

2.2.8 震动传感器 43

2.2.9 传感器接口 46

2.3 信号放大与变换电路 47

2.3.1 集成运算放大器应用基础 47

2.3.2 常用放大电路 50

2.3.3 测量放大器 54

2.3.4 电压电流转换器 55

2.3.5 电流电压转换器 58

2.3.6 积分、微分、滤波电路 59

2.3.7 电压比较器与施密特触发器 61

2.4 信号的模数转换 69

2.4.1 多路模拟开关 70

2.4.2 采样保持电路 73

2.4.3 A/D转换器(ADC) 76

2.4.4 V/F转换器(VFC) 81

2.5 前向通道设计实例 82

2.5.1 传感器选择 82

2.5.2 信号转换与放大电路设计 83

2.5.3 A/D转换电路设计 84

第3章 主控电路设计 85

3.1 概述 85

3.2 常用标准逻辑器件 86

3.2.1 常用74系列器件 86

3.2.2 常用4000系列器件 88

3.3 可编程逻辑器件应用 90

3.3.1 可编程逻辑器件基础 90

3.3.2 Quartus II软件平台介绍 91

3.3.3 Quartus II设计流程 92

3.3.4 Quartus II设计进阶 109

3.4 单片机系统设计 118

3.4.1 单片机的分类与选型 118

3.4.2 单片机系统设计原则 120

3.4.3 单片机最小系统设计 121

3.4.4 基于并行总线的单片机系统扩展 121

3.4.5 基于串行总线的单片机系统扩展 131

3.4.6 单片机人机通道设计 153

3.4.7 单片机相互通道设计	161	5.1.5 直接数字合成(DDS)信号 发生器	261
3.4.8 单片机系统软件设计	163	5.2 直流稳压电源	270
3.4.9 STM32 系列微控制器 简介	167	5.2.1 整流与滤波电路	270
3.4.10 STM32 系列微控制器开发 平台简介	180	5.2.2 集成稳压器分类与主要 技术指标	272
3.5 主控电路设计实例	201	5.2.3 线性集成稳压器	275
3.5.1 单片机基本系统设计	201	5.2.4 开关电源及开关型集成稳 压器	281
3.5.2 人机对话通道设计	204	5.3 电压基准	288
3.5.3 系统软件设计	204	5.3.1 电压基准分类	288
第 4 章 后向通道设计	209	5.3.2 稳压二极管	290
4.1 概述	209	5.3.3 并联型电压基准	291
4.1.1 后向通道结构形式	209	5.3.4 串联型电压基准	293
4.1.2 后向通道设计内容	209	5.4 系统辅助电路设计实例	297
4.2 信号的数模转换	210	5.4.1 供电电源设计	297
4.2.1 D/A 转换器(DAC)	210	5.4.2 电压基准设计	298
4.2.2 F/V 转换器(FVC)	214	第 6 章 电子系统抗干扰设计	301
4.3 功率器件及驱动电路	215	6.1 干扰产生的原因	301
4.3.1 开关功率器件及开关量 驱动电路	215	6.2 干扰侵入系统的渠道	303
4.3.2 线性功率器件及线性 驱动电路	219	6.3 电子系统抗干扰设计	304
4.4 执行机构	222	6.3.1 硬件抗干扰措施	304
4.4.1 执行机构中的电气元件	222	6.3.2 印刷电路板的抗干扰 设计	316
4.4.2 执行机构中的机械装置	239	6.3.3 软件抗干扰措施	320
4.5 后向通道设计实例	242	6.4 电子系统抗干扰设计实例	322
4.5.1 后向通道电路设计	242	6.4.1 硬件抗干扰措施	323
4.5.2 后向通道双向可控硅 选择	242	6.4.2 软件抗干扰措施	324
第 5 章 辅助电路设计	244	第 7 章 电子系统的安装与调试	325
5.1 信号发生电路	244	7.1 电子系统的安装	325
5.1.1 信号发生电路的特性 要求	244	7.1.1 布局规划	325
5.1.2 正弦波发生电路	245	7.1.2 电路板焊接	326
5.1.3 非正弦波发生电路	251	7.1.3 系统连接	327
5.1.4 单片集成函数发生器	258	7.2 电子系统的调试	327
		7.2.1 调试步骤	327
		7.2.2 故障排查	328

7.2.3 调试中的注意事项	329	9.1.1 设计任务与要求	355
7.3 数据读取及分析处理	330	9.1.2 方案论证	355
7.3.1 数据的读取	330	9.2 数控直流稳压电源设计	364
7.3.2 数据的分析处理	331	9.2.1 设计任务与要求	364
7.4 电子系统安装与调试实例	333	9.2.2 方案论证	364
7.4.1 硬件制作与安装	333	9.3 简易数字频率计	369
7.4.2 硬件电路调试	334	9.3.1 设计任务与要求	369
7.4.3 软件调试	335	9.3.2 方案论证	370
7.4.4 联机调试	336	9.4 简易电阻、电容、电感测 试仪	374
7.4.5 指标测试及软件固化	338	9.4.1 设计任务与要求	374
第8章 设计总结报告的编写	341	9.4.2 方案论证	374
8.1 内容要求	341	9.5 数字化语音存储与回放 系统	378
8.2 排版要求	343	9.5.1 设计任务与要求	378
8.3 设计总结报告编写实例	344	9.5.2 方案论证	378
第9章 电子系统设计示例	355	参考文献	389
9.1 数控信号源设计	355		

第1章 电子系统设计导论

1.1 电子系统的组成与类型

1.1.1 电子系统的组成

回顾近代历史的诸多重大发展与成就,人们不难发现,电子与信息技术的飞速发展是现代社
会文明与进步的巨大动力之一。从电子管到晶体管,从小规模集成电路到超大规模集成电路,从
模拟系统到数字系统,再到微处理机系统,从简单的电子产品到宇宙飞船,这一系列的世纪成就
无一不与电子和信息技术紧密相关。在人类的生产与生活领域中,从工业到农业,从医疗到交
通,从商业到娱乐,又有哪一个方面可以脱离开电子信息技术和电子信息产品呢?这就要求工作
于电子和信息领域的工作者,或有志并即将工作于电子和信息领域的学生,努力学会并掌握电子
系统的设计与开发的方法。

那么,什么是电子系统?它有什么特点?包括了哪些主要内容?电子系统有大有小,大到航
天飞机的测控系统、小到电子手表,它们都是电子系统。通常,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都可以称为电子系统,也可以概括地讲,凡是可以完
成一个特定功能的完整的电子装置就可称为电子系统。电子系统繁简不一、功能各异,组成形式
也各不相同,如图 1-1 给出了测量控制型电子系统可能的组成框图之一。

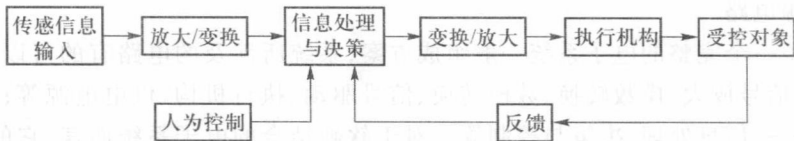


图 1-1 电子系统可能的组成框图之一

从图 1-1 所示的组成框图可以看出,一个完整的测控型电子系统一般包括以下几个部分:

1. 前向通道

前向通道是信息获取的通道,在测量控制型电子系统中,受控对象以及受控对象所处的环境
和控制条件,都是系统需要监测的信号,这些信号就是通过系统的前向通道获取并输入到主控电
路,然后做进一步处理的。在图 1-1 所示的组成框图中,左侧的“传感信息输入”来自于被控对
象所处的环境和控制条件,而右侧的“反馈”信息则来自于受控对象自身。

前向通道一般由传感器、信号放大和信号变换等环节组成,反馈回路也是一样。其中,
传感器是将需要监测的对象由物理量转变成电信号量,但是由于传感器输出的电信号大多是微
弱的模拟信号,容易在传输、处理过程中受到干扰信号的影响,所以一般还要经过放大电路进行
信号幅度的放大。放大以后的信号仍然是模拟信号,如果要将这些信号送到由数字电路组成的

主控电路做进一步处理,就必须先将模拟信号转换成数字信号。因此,前向通道中传感器、放大电路和模数变换电路是必不可少的组成部分。

2. 主控电路

主控电路是信号进行集中处理的电路,它将前向通道传送过来的信息和人为控制信号在这里汇集到一起,完成对信息处理、决策与控制输出的功能。

功能简单的主控电路可以由纯硬件的电路组成,例如用运算放大器或标准数字逻辑器件组成各种简单的信号处理电路。但随着电子系统复杂程度的提高,纯硬件电路已无法或很难满足信号的复杂处理要求,因此主控电路更多的是用可编程逻辑器件或含有 CPU 的微处理器组成。尤其是以微处理器为核心的智能型系统中,由于有了软件的参与,微处理器可以实现非常复杂的处理功能,使设计者方便、灵活地实现系统的设计要求。

3. 后向通道

后向通道是信号输出的通道,在控制类的电子系统中,要对受控对象实施控制操作,改变受控对象的工作状态,就要有相应的后向通道。后向通道一般包括信号变换、放大等环节,并通过执行机构作用于受控对象。

由于以数字电路为核心的主控电路总是以数字形式输出信号,而执行机构能接受的信号通常是模拟信号,因此,首先需要通过数模变换将数字信号转换成模拟信号。另外,由于受控对象的功率要求,经转换得到的模拟量仍无法直接作用于执行机构,因此,还要将输出的模拟信号进行功率放大,并通过执行机构使受控对象发生改变,实现设计任务所要求的功能。

4. 辅助电路

虽然在图 1-1 中没有画出辅助电路,但在所有的电子系统中都需要供电电源来提供电路工作所需的能量。有些系统还需要基准源或信号源来辅助系统工作,因此,辅助电路的设计也是电子系统设计中的一个重要组成部分。辅助电路的组成依系统要求而不同,最简单的辅助电路至少包含供电电源电路。

以上给出了一个完整的电子系统一般组成方案,系统所涉及的电路有的可以归类于模拟电路——传感器、信号放大、模数转换、数模转换、信号驱动、执行机构、供电电源等;有的则可以归类于数字电路——信息处理、决策与控制等。对于软硬结合的电子系统而言,它的信息处理、决策与控制部分常常由含有 CPU 的微处理器系统来实现,所以从电路类别来讲,一般可以把电子系统看成由三大部分组成:模拟子系统、数字子系统与微处理机子系统。之所以把以上三个部分称为三个子系统,是因为这些部分一般已不是 1~2 块简单模块电路可以实现的,它们本身也构成了一个有特定功能、相对完整的电子系统。

用于实现电子系统的器件比较广泛,基本上包括了大部分电子元器件,它们是中大规模或大规模通用集成电路、专用集成电路、微处理器、可编程器件以及不可缺少的少量分立元件和机电元件。

1.1.2 电子系统的类型

从电子系统的类型来讲,电子系统又可分为智能型与非智能型两种。顾名思义,非智能型电子系统应该是那些功能简单或功能固定的电子系统,例如简单的巡回检测报警系统等。而所谓智能型电子系统,是指具有一定智能行为的系统。具体地说,若对于一个问题的激励输入,系统

具备一定的智能行为,它能够产生适合求解问题的响应,这样的系统称为智能系统。例如,在智能机器人系统中,系统对一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力,有自动躲避障碍运动到目标位置的能力。又如,在复杂的工业过程控制系统中,系统除了对被控物理量实现定值调节外,还能够实现整个系统的自动起停、故障自动诊断以及紧急情况的自动处理等功能。这样的电子系统都可以看做是智能型电子系统。

从系统的角度看,智能行为是一种从输入到输出的映射关系,这种映射关系并不一定能用数学的方法精确地加以描述。正是由于智能型电子系统研究的对象往往具有不确定性的模型、高度的非线性和复杂的任务要求,因而以经典控制理论和简单的逻辑控制电路与模拟电路组成的常规电子系统已难以甚至根本不可能解决复杂系统的控制问题。而这些问题在微处理器出现之前是不可能得到有效解决的。随着电子技术的不断发展,集成电路芯片的集成度越来越高,特别是微处理器芯片的出现,以微处理器为核心的电子系统可以很容易地将计算技术与控制技术结合在一起,组成新一代的“智能型电子系统”。可以预测,随着计算机技术和智能控制理论不断发展,智能型电子系统的智能程度也必将会越来越高。

以上虽然给出了智能系统的定义,但它没有提出一个明确的界限,规定什么样的系统才算是智能系统。事实上,即使是智能系统,其智能程度也有高低。一般认为,一个智能型电子系统应具备信息采集、传输、存储、分析、判断和控制输出的能力,在智能化程度较高的电子系统中,还应该具备预测、自诊断、自适应、自组织和自学习控制功能。这些功能的实现是传统控制理论向纵深发展到高级阶段的产物,也是高智能化电子系统所应具备的几个主要的功能特点。

显然,纯硬件的电子系统是不可能被划在智能型范围内的。它的最大弱点是硬件与功能是一一对应的,增加一个功能必须增加一组硬件,改变功能必须改变电路结构。所以纯硬件结构不具有便于学习的能力,因此它不具有智能型的特点。只有以微处理器为核心并配以必要的外围电路从而构成软硬结合的电子系统才具有智能型的特点。首先,这样的系统有输入接口,可以接收信息、数据和命令;有存储单元,可以存储大量的信息;有微处理器,可以进行必需的分析、判断和处理;有输出接口,可以输出并控制决策的执行。其次,它善于并且便于学习,只要将合适的软件装入系统,人们不必改动系统结构就可使它具有某种新功能。因此,我们把以微处理器为核心组成的软硬结合的电子系统称为智能型电子系统。

根据电子系统的功能不同,大概有以下几种电子系统:

(1) 测控系统。大到航天器的飞行轨道控制系统,小到自动照相机快门系统以及工业生产控制等。

(2) 测量系统。电量及非电量的精密测量。

(3) 数据处理系统。例如语音、图像、雷达信息处理等。

(4) 通信系统。数字通信、微波通信等。

(5) 计算机系统。计算机本身就是一个电子系统,可以单台工作也可以多台连网。

(6) 家电系统。多媒体彩电、数字式视频光盘机等。

以上列举了众多的电子系统,它们的功能不同、规模不同、使用场合不同,因此对它们的要求也不同,从而衡量这些系统的指标也是不同的。衡量电子系统的指标可能有功能、工作范围、容量、精度、灵敏度、稳定性、可靠性、响应速度和使用场合、工作环境、供电方式、功耗、体积重量等。对不同系统而言,系统指标的要求是不同的,例如:航天器中的轨道控制系统的动态工作范围、精

度、响应速度、可靠性、体积重量、功耗、工作环境等必须重点考虑;通信系统则重视容量、灵敏度、稳定性、使用场合等;家电系统主要考虑功能、稳定性、可靠性、成本及价格等,而对供电方式、精度、响应速度等指标不作过多考虑。系统设计人员应根据系统类型、功能要求、指标要求,细化出每个待设计的子系统的技术指标以便进行设计。在细化过程中必须注意尽量符合国家标准或部颁标准,必要时还应符合国际标准,以便产品走向世界。在细化中应该注意系统的档次定位、技术含量恰当、符合发展潮流、性能价格比高,以满足市场需求。

根据以上介绍的电子系统功能、应用范围以及设计类型可知,电子系统设计牵涉的范围非常广,而且涉及的技术层次也大不相同。根据本书所设定的读者及使用范围,本书的内容将限定于设计一个实用的、完整的测量控制型电子系统,给读者提供一个由单元电路、基本原理、实用器件到实用小系统的桥梁,使读者学会并掌握电子系统设计与开发的一般方法。

1.2 电子系统设计方法与过程

1.2.1 电子系统的设计方法

1. 自上而下(Top-Down)的设计方法

在大多数情况下,电子系统的设计方法采用自上而下的设计方法。如图1-2所示,设计人员根据用户要求进行设计,而用户的要求一般以系统设计要求或系统设计说明书的形式提供,具体表示为以自然语言描述的无二义性的系统总体功能要求与技术指标要求。

设计人员首先根据对设计要求的理解及已有的知识构成系统总体方框图,在构成总体方框图时应不断地消化并理解用户要求,必要时与用户磋商讨论,进一步明确一些可能存在的不明确的地方,补充确定一些设计要求中未曾列出的必要的技术要求、指标等。

系统总体方框图一般由若干个方框构成,每一个方框都是一个功能相对单一的子系统。在构成系统总体方框图时,要根据设计要求,规定每个子系统的性能指标。然后,设计人员应对总体方框图中的每一个方框(子系统)的结构进行分析及设计。如果总体方框图中的某个方框还不能直接落实到具体的单元电路,则应该对该方框作进一步分解并作相应的指标分配,直到分解后的每一个小方框都落实到具体的、可以实现的单元电路,同时规定用于实现单元电路的一些关键器件的指标,以保证该子系统的性能指标的实现。

由此可见,自上而下的设计方法是一个不断求精、逐步细化、不断分解的过程,但并不总是单方向的。在下一级的构成及设计过程中可能会发现上一级的问题或不足,从而必须反过来对上一级的构成及设计加以修正。所以自上而下的设计过程是一个不断反复修正的过程,最后制定出可行的方案,完成系统的理论设计部分。

图1-3所示是按自上而下方法对微型计算机系统设计的过程,由图可见,微型计算机系统可以分解为微型计算机、系统软件、电源和输入输出外围设备四个部分,而微型计算机又可

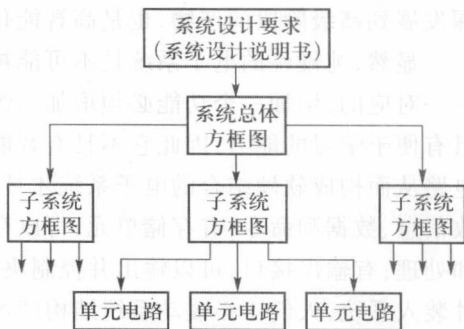


图1-2 自上而下的设计方法

以分解为微处理器、总线、存储器、输入输出系统等若干个子系统,每个子系统又由多个单元电路组成。

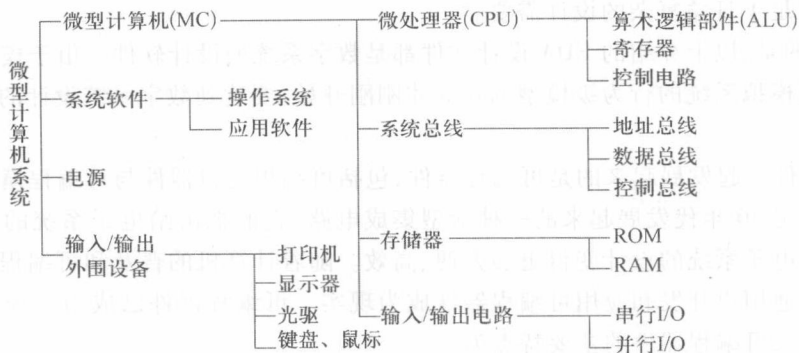


图 1-3 微型计算机系统的设计过程

2. 自下而上(Bottom-Up)的设计方法

自下而上的设计与自上而下的方法正好相反,该方法是根据要实现的系统的各个功能的要求,首先从现有的可用的元件中选出合用的,设计成一个个单元电路。当一个单元电路不能直接实现系统的某个功能时,就需要设计由多个单元电路组成的子系统去实现该功能。上述过程一直进行,直到系统所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的、成熟的单元电路与子系统,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成可用的元件或单元电路,故不容易实现系统化的、清晰易懂的以及可靠性高、可维护性好的设计。然而,自下而上的方法在系统的组装和测试过程中确是行之有效的,因此该方法常用于这种场合。此外,对于以 IP 核(具有知识产权和特定电路功能的硬件描述语言程序或集成电路版图)为基础的 VLSI 片上系统的设计,自下而上的方法亦得到重视和采用。

应该说明的是,自下而上的设计与自上而下的方法不仅仅用于电子系统的硬件设计过程,对于一个含有微处理器的智能型电子系统而言,其软件的设计过程同样可以采用。不同的是,在软件设计中,软件的系统功能可以分解为软件模块,而最终用以实现软件功能的是具体的软件源程序。

3. 电子系统的 EDA 设计方法

由于电子技术的飞速发展,集成电路和电子系统的复杂程度大概以每 18 个月增加一倍的速度发展,这就是著名的摩尔定律。现代电子产品的复杂程度越来越大,性能越来越高,更新步伐越来越快,新器件、新技术层出不穷,因此电子系统设计的复杂程度也在相应提高。面对越来越庞大、越来越复杂的电子系统,简单的手工设计方法已无法满足现代电子系统设计的要求,因此许多软件公司纷纷开发研制了计算机辅助设计(EDA)系统。比较著名的研制 EDA 公司有 Synopsys、Altera、Data I/O、Cadence、Mentor、Graphics 等。

电子设计自动化的广泛使用,使得设计者可以将精力集中于系统的高层设计,诸如算法、功能等概念方面的设计,而把大量的具体设计过程留给 EDA 软件去完成,改变了传统设计过多地

依赖设计者的知识和经验,代之以定性化的系统级目标设计和由软件完成的量化模块设计。由于在 EDA 软件中集成了大量的成熟经验、算法及工具,因此保证了设计的可靠性及水平,加速了设计速度,满足了日益复杂的设计需要。

需要说明的是,以上介绍的 EDA 设计软件都是数字系统的设计软件。由于模拟电路的复杂性,目前实用的模拟系统的行为级模型的建立才刚刚开始,要达到数字系统设计的水平可能还要一定时间。

与 EDA 软件一起发展起来的是可编程器件,包括可编程逻辑器件与可编程模拟器件。可编程器件是 20 世纪 70 年代发展起来的一种新型集成电路,它的推出给电子系统的设计带来了全新的概念,使得电子系统的设计变得更加方便、高效。随着计算机的普及和可编程器件价格的不断下降,使得普通用户开发和应用可编程器件成为现实。可编程器件已成为当今集成电路发展最快的品种之一,可编程器件的主要特点为:

(1) 芯片功能可以编程实现。可编程器件的出现改变了传统的设计方法,配合开发软件,使电子系统的设计变得更加简单,它将大部分硬件设计转化成软件设计,实现了“硬件软化”。

(2) 器件规模很大。一片可编程器件往往就可构成一个子系统,因此,其性能价格比很高。

(3) 运行速度快。可编程器件的开发虽然是通过软件编程来实现,但将验证后的功能代码烧录至可编程器件内部,实现的却是硬件编程。因此,其工作速度很高。

(4) 可编程器件的使用相对复杂。可编程器件买回后不能直接使用,而要通过开发软件将功能编程并下载到器件中之后,相应器件才具有特定的功能,才可使用。

现在,计算机已十分普及,开发可编程器件的外部条件已经具备。随着微电子技术的发展,可编程器件的规模越来越大、价格则越来越低,可编程器件以其极高的性价比和更先进的设计方法而成为设计电子系统的优选器件。从可编程器件开发的一般过程可看出,几乎所有的可编程器件开发工作都是在计算机上进行软件编程、调试。这一方面大大减少了开发费用,另一方面利用功能强大的 EDA 软件进行开发可以大大缩短开发周期。当开发大型电子系统时,这个优点更为明显。采用传统方法需要几个月才能完成的系统开发,当采用可编程器件设计后,有时在一天之内就可完成。

由于 EDA 的广泛应用,使具有一定电路基础知识及计算机技能的人员经过培训即可胜任这项工作。由此可见,电子设计自动化是现代电子系统设计的基本手段,也是现代社会对电子设计人员要求掌握的基本技能之一。

1.2.2 电子系统的设计过程

以最具代表性的智能型电子系统为例,系统的设计和研制从提出任务到投入使用或定型生产,其过程大致如图 1-4 所示,它包括确定设计任务、总体设计、硬件设计与调试、软件设计与调试、整机联调和资料整理等几个步骤。

1. 确定设计任务

在系统开发过程的前期阶段,首先必须进行认真细致的调查研究,深入了解用户各方面的技术要求,了解国内外相似课题的技术水平,进行项目分析,摸清软、硬件设计的技术难点,然后确定项目所要完成的任务和应具备的功能,以及要达到的技术指标,并综合考虑各种因素,提出设计的初步方案,编写出设计任务书。

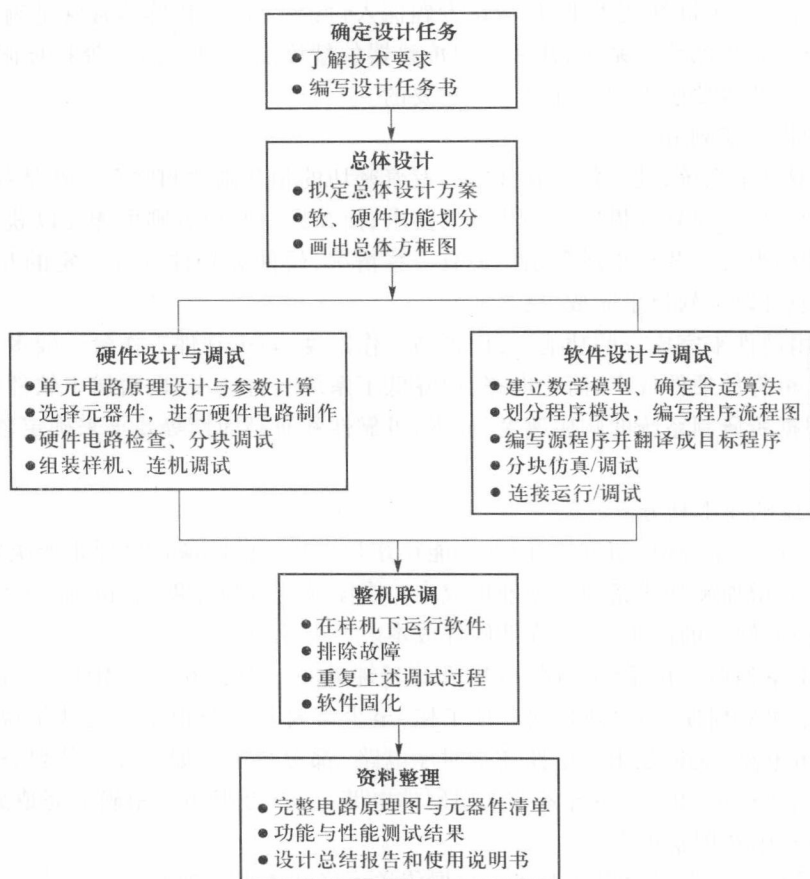


图 1-4 智能型电子系统开发过程示意图

设计任务书的编写必须尽可能详细,合情合理,明确说明整个系统最终达到的技术指标。这里要注意,在一般情况下,技术指标达到某一限度之后,再想提高一点点都是不容易的,为此有可能付出几倍的时间和经费。所以,填写具体的指标数字要特别慎重,避免整个系统指标达不到,造成验收时无法通过。

设计任务书不但要明确系统的设计任务,还应对系统规模作出规定,如主机机型、分机机型、配备哪些外部设备等,这是硬件投资、硬件设计的主要依据。同时还应详尽说明系统的操作规范,这是软件设计的基础,操作规范要特别尊重操作者意见,使用户感到满意。

2. 总体设计

总体设计包括拟定总体设计方案,进行软、硬件功能划分,画出总体方框图三个具体步骤。

(1) 拟定总体设计方案

电子系统总体方案的选择,将直接决定系统设计的质量。因此,在进行系统总体方案设计时,要多思考、多分析、多比较。要从系统的功能、性能指标、稳定性、可靠性、成本、功耗、调试维修的方便性等方面,进行认真调研、论证,选出最佳方案,以避免方案上的疏忽造成软、硬件设计产生较大的返工,延误项目开发进程。

对于总体方案的关键性技术难点,应设专题深入讨论。例如,传感器常常是测试系统中的关键环节,一个设计合理的测控系统,往往会因传感器的精度、非线性、温漂等指标限制,造成系统达不到指标要求,所以传感器的选择是至关重要的。

(2) 软、硬件功能划分

一个智能型电子系统,其硬件与软件之间有着密切的相互制约和联系。在某些地方,可能要从硬件设计角度出发,对软件提出一些特定的要求;而在另一些地方则可能要以软件的考虑因素为主,对硬件结构提出一些要求或限制。还有一些情况,硬件和软件具有一定的互换性,有些由硬件实现的功能可以由软件来完成,反之亦然。

较多地使用硬件来完成一些功能,可以提高工作速度,减少软件工作量。较多地使用软件来完成某些功能,可降低硬件成本,简化电路,但降低了系统运行速度,也增加了软件工作量。在总体设计时,可根据所研制系统的响应速度、成本、可靠性和研制周期等要求来确定软、硬件功能的划分。

1) 根据速度的要求划分

在绝大多数电子系统中,划分软、硬件功能往往是由系统的响应速度要求所决定的。如要提高速度,则意味着增加硬件线路和提高硬件成本。在系统对响应速度没有过高要求的情况下,可以考虑以软件换取硬件的简化,从而降低硬件成本。

以 MCS-51 系列单片机系统为例,单片机的时钟频率一般在 6 ~ 12 MHz 左右,执行一条指令至少需要一个机器周期,而完成任何一项工作,至少需要若干条指令。这就是说,单片机操作系统比数字逻辑电路(无论是组合电路还是时序电路)都慢得多。如果在单片机系统中,某一项任务的完成时间要小于 10 μs ,系统就得采用硬件电路方案,否则如采用确能完成此项任务的高速微处理器系统,则费用就很大。

微处理器系统的速度很大程度上还受数据传送速度和数据处理速度的制约。数据传送速度主要是微处理器同输入、输出设备数据传输匹配的问题。当微处理器系统处理某一问题速度不匹配时,修改数据传输程序起到的作用往往微乎其微。一般来说,这类问题主要靠增添硬件或改变系统硬件方案来解决,例如采用 DMA 方式,或设计主从式多机系统,由主机负责处理数据,从机负责外设数据的传送,则能提高系统的响应速度。

数据处理速度是指微处理器得到数据之后能多快地处理数据。由于单片机不是为解决复杂数据处理而设计的,它主要是用于控制,不管算法多么巧妙,运算总得占用大量计算时间,而且计算程序在用汇编语言编制时,将耗费大量人力来编制、调试程序,代价相当昂贵。要解决复杂数学运算问题只有采用专用硬件运算芯片,或采用其他适合运算的微处理器系统,如通用计算机系统、嵌入式系统或 DSP 系统等。

当用软件来完成某一控制功能时,必须注意使程序执行时间小于控制要求所允许的时间范围,并保证留有余量,以免系统不可靠,否则就必须设法将这部分功能用硬件来实现。

2) 根据成本要求划分

智能型电子系统的研制费用包括硬件和软件的费用,其中有对整个系统进行软、硬件选择的费用,有研制工具、文献资料、编制文件、设计调试、仪器使用的费用,以及其他用于实现系统功能的一切成本费用。软件的费用不仅是设计师所花脑力劳动代价,还有各种调试工具、消耗品等费用。软件费用的特点是研制费用昂贵,复制费用低廉。在批量生产的产品研制中,应尽可能利用

软件复制费用低的特点,采用软件代替硬件的方法,以降低成本。小批量或单件产品不宜采用软件代替硬件办法,这会增加软件研制费用,只有在大批量生产或可直接利用已成熟原理或软件来替代硬件时才有价值。反之,在小批量研制中往往采用增加硬件的方法,以降低软件成本。

3) 根据可靠性要求划分

硬件线路越复杂,电子系统的可靠性就越差。因此尽可能减少硬件线路在系统中的比例,采用软件替代硬件功能,是提高可靠性的一个好办法。当然,在许多特殊场合,如军用及各种恶劣环境中,往往采用硬件冗余来提高系统可靠性。

4) 根据研制周期要求划分

为了加快智能型电子系统的研制速度,应尽量考虑采用各种标准软硬件或利用已有的、成熟的软硬件来完成系统的功能,而不必拘泥于前面所述细节。

(3) 画出总体方框图

总体设计的任务之一是确定系统硬件的类型和数量,绘出系统硬件的总框图。

主控电路是系统硬件的核心,要依据系统功能的复杂程度、性能指标、精度要求,选定一种性能价格比合适的微处理器型号,同时根据需要选定外围扩展芯片、人机接口电路及配置外部设备。

前向通道和后向通道是系统硬件的重要组成部分,总体设计要根据信号数量、特点、功能和性能指标要求,合理选择通道的结构、抗干扰措施和驱动能力等,并确定输入输出通道所需的硬件类型和数量。

总体设计还要完成软件设计任务分析,绘出系统软件的总体框图。设计人员应反复权衡哪些功能由硬件完成,哪些任务由软件完成,对软、硬件比例作出合理安排。

总体设计一旦确定,系统的大致规模、软硬件的基本框架就确定了,然后将系统设计任务按功能模块分解成若干课题,拟定出详细的工作计划,后面的软、硬件设计就可同时并行展开了。

3. 硬件设计与调试

(1) 硬件电路设计原则

为使硬件设计尽可能合理,在进行系统硬件设计时应注意下列原则:

- 1) 尽可能选择功能较强的新型芯片,以简化硬件电路,减少设计工作量。同时,随着新型芯片价格不断降低,硬件系统成本也可能有所下降。
- 2) 尽可能选择典型电路,并符合所选芯片的常规用法,力求硬件标准化、模块化。
- 3) 系统的扩展与外围设备的配置应在充分满足系统功能要求的前提下适当留有余地,以便方案更改或进行二次开发。
- 4) 硬件结构应结合软件方案一并考虑,做到软、硬件功能相互匹配。
- 5) 整个系统中相关器件要尽可能做到性能匹配。例如,在高速系统中应选择高速微处理器芯片和高速接口芯片;在低功耗系统中所有芯片(包括微处理器)都应选择低功耗型产品。
- 6) 可靠性及抗干扰设计是硬件系统设计不可缺少的一部分。为确保系统长期可靠运行,硬件设计必须采取相应的抗干扰措施,它包括芯片、器件选择,去耦滤波,合理布线、通道隔离、屏蔽等措施。

7) 结构工艺设计是电子系统设计的一项重要内容。结构工艺设计包括系统设备的造型、壳体结构、外形尺寸、面板布置、模板固定连接方式、印刷电路板、配线和插接件布置等。要求设计