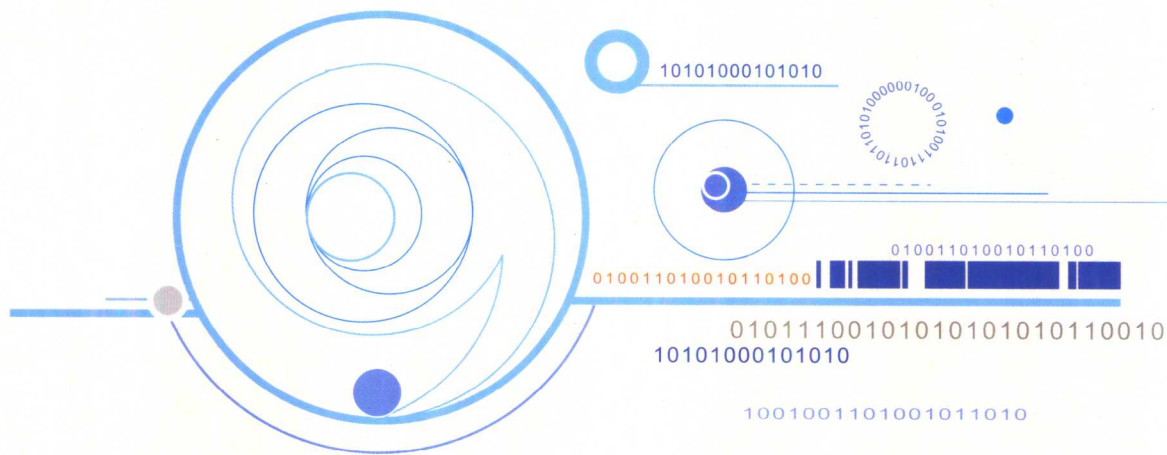


高等院校通用教材

智能仪器原理与设计

周航慈 朱兆优 李跃忠 编著



北京航空航天大学出版社

高等院校通用教材

智能仪器原理与设计

周航慈 朱兆优 李跃忠 编著

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书是工科院校电子类专业本科生的教材,是作者总结多年教学经验并参考国内同类书籍编写而成的。

介绍了智能仪器的基本工作原理和各部分的设计方法,内容有模拟信号输入/输出通道、开关信号输入/输出通道、通信部件、时钟系统、人机界面、常用处理功能和可靠性设计等,并就基于电压测量、时间测量和波形测量的3类智能仪器作了专门介绍。为突出智能仪器的特点,本书加重了软件设计的分量,减少了与其它课程相同的硬件设计内容。为配合教学,每章均附有一定数量的习题。

本书内容同样适用于普通电子产品的设计,也可作为电子技术人员从事单片机应用系统研制开发的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器原理与设计/周航慈等编著. —北京:北京
航空航天大学出版社,2005.3

ISBN 7-81077-649-5

I. 智… II. 周… III. ①智能仪器—理论②智能
仪器—设计 IV. TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 018720 号

智能仪器原理与设计

周航慈 朱兆优 李跃忠 编著

责任编辑 孔祥燮

*

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

涿州市新华印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:16.5 字数:370 千字

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷 印数:5 000 册

ISBN 7-81077-649-5 定价:22.00 元

前 言

大学工科院校电子类专业的学生毕业后大多从事电子产品开发设计工作,为此,在本科教育阶段开设一门“智能电子产品设计”课程非常必要。由于智能仪器是各种智能化电子产品的典型代表,其硬件结构和软件系统可作为一般智能化电子产品的模型,故以“智能仪器原理与设计”课程作为电子类专业的“智能电子产品设计”课程是比较合适的。通过本课程的学习,能使学生基本掌握电子产品的设计方法。

过去,人们认为“计算机专业是学软件的,电子专业是学硬件的”。随着电子产品的硬件集成度越来越高,软件开发在产品开发中所占比重也越来越大,“电子专业是学硬件的”这种观点显然已经过时。作为电子专业的学生,既要掌握硬件设计知识,也要具备软件设计能力,只有那些硬件功底扎实,软件设计能力很强的学生将来才能在这个领域有所作为。为了适应这种需要,软件设计能力的培养在本教材中得到了加强,与其它课程内容相同的硬件设计内容,在篇幅上作了相应压缩。

与国内已经出版的同类书籍和教材相比,本书除了加重软件设计的分量外,硬件设计中大量采用串行器件也是一个特色。随着集成度的提高,很多情况下只要选择一种合适的、内嵌了所需功能部件的新型单片机就可满足要求,无须外接其它功能芯片。即使需要外接功能部件,也采用串行接口芯片。只有在信息量非常大、速度要求非常高的场合才采用并行总线。

本书第1章是“绪论”,介绍了智能仪器的一些基本知识。第2章是“微处理器的选择”,介绍了几种当前流行的单片机,使学生从“单片机原理”课程中学到的8051中跳出来,达到开阔视野的目的。第3章是“软件系统设计概述”,使学生对一个完整的系统软件有所了解。第4章和第5章介绍了开关量信号和模拟信号的输入/输出通道。第6章是“总线与通信系统”,介绍了几种主要的通信协议。第7章是“时钟系统”,它是系统运行的基础。第8章是“人机接口”,介绍了显示、打印和键盘的接口设计。第9章是“常用处理功能”,介绍了有关数据处理、误差处理、标度变换和自动测量的基本知识。第10章是“可靠性设计”,介绍了抗干扰

设计和容错设计的基本知识。第 11~13 章分别介绍了基于电压测量、时间测量和波形测量的智能仪器的基本知识和产品实例。第 14 章是“虚拟仪器简介”,使学生对虚拟仪器有一个初步了解。

为了配合教学,每一章都有适量的习题。本书全部内容计划学时为 60 课时,不同专业可根据需要选择教学内容和讲授深度,将实际教学课时控制在 40~60 课时。

本书第 1 章和第 14 章由李跃忠编写;第 2 章、第 4 章、第 11~13 章由朱兆优编写;第 3 章、第 5~10 章由周航慈编写;全书的策划、内容安排、文稿修改和审定由周航慈负责。

本书在编写过程中得到北京航空航天大学出版社的大力支持,得到东华理工学院有关部门的关心和资助,在此表示衷心感谢!

由于本书涉及的知识领域广泛且变化日新月异,再加上时间紧,水平有限,书中差错和不足之处,敬请读者指正!

作 者

2004 年 12 月 31 日

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 电子仪器的发展历史	1
1.2 智能仪器的特点	1
1.3 智能仪器的结构	2
1.3.1 硬件系统组成	3
1.3.2 软件系统组成	4
1.4 智能仪器的基本设计思想	4
1.5 智能仪器的研制过程	4
1.5.1 确定设计任务与拟定设计方案	5
1.5.2 硬件和软件设计及仪器仪表结构设计	6
1.5.3 仪器统调与性能测试	8
习 题	9
第 2 章 微处理器的选择	10
2.1 基于 8051 内核的单片机	11
2.1.1 基本型单片机	11
2.1.2 精简型单片机	12
2.1.3 精简增强型单片机	13
2.1.4 高档型单片机	15
2.2 基于 ARM 内核的单片机	16
2.2.1 AT91 系列 ARM 芯片	16
2.2.2 LPC2100/LPC2200 系列 ARM 芯片	17
2.2.3 EP 系列 ARM 芯片	18
2.3 其它类型的微处理器	18
2.3.1 Atmel 公司的 AVR 系列单片机	18
2.3.2 TI 公司的 MSP430 系列单片机	19
2.3.3 Motorola 公司的 68 系列单片机	20
2.3.4 Microchip 公司的 PIC 系列单片机	21
2.4 DSP 数字处理器	24

2.4.1 DSP 技术概念及其发展	24
2.4.2 DSP 处理器的主要结构特点	24
2.4.3 DSP 处理器的选择	25
2.4.4 DSP 技术的应用	26
习 题	27
第 3 章 软件系统设计概述	28
3.1 软件开发环境与编程语言	28
3.1.1 开发环境的选择	28
3.1.2 编程语言的选择	29
3.2 软件系统的结构分析	29
3.2.1 层次结构	29
3.2.2 功能结构	30
3.3 软件系统的规划	31
3.4 软件系统的设计步骤	32
3.4.1 设计和调试硬件接口模块	32
3.4.2 建立软件系统的框架	33
3.4.3 设计和调试各功能模块	34
3.4.4 整机测试	34
3.5 实例分析	35
3.5.1 系统功能概述	35
3.5.2 硬件系统概述	35
3.5.3 软件系统的规划	36
3.5.4 软件系统的框架	37
习 题	39
第 4 章 开关量信号的输入/输出	40
4.1 开关量信号的输入	40
4.1.1 开关量信号输入通道结构	40
4.1.2 开关量输入接口	41
4.2 开关量信号的输出	45
4.2.1 输出驱动接口的隔离	46
4.2.2 小功率直流负载驱动接口电路	46
4.2.3 中功率直流负载驱动接口电路	47

4.2.4 固体继电器输出接口电路	47
习 题	48
第 5 章 模拟信号的输入/输出	49
5.1 模拟信号的输入	49
5.1.1 A/D 转换器件的选择	49
5.1.2 模拟输入通道的设计	50
5.1.3 其它 A/D 转换模式介绍	56
5.2 模拟信号的输出	59
5.2.1 D/A 转换器件的选择	60
5.2.2 模拟输出通道的设计	60
5.2.3 PWM 型 D/A 转换器	64
习 题	67
第 6 章 总线与通信系统	68
6.1 通用接口总线 GP-IB	68
6.1.1 GP-IB 标准接口概述	68
6.1.2 GP-IB 接口芯片	71
6.2 串行通信标准 RS-232 与 RS-485	72
6.2.1 RS-232 标准及接口芯片	72
6.2.2 RS-485 标准及接口芯片	73
6.2.3 串行通信程序设计	74
6.3 其它总线与通信技术简介	79
6.3.1 通用串行总线 USB	79
6.3.2 现场总线 CAN	81
6.3.3 工业以太网	82
6.3.4 蓝牙技术	83
6.3.5 电力载波通信	83
习 题	85
第 7 章 时钟系统	87
7.1 硬件时钟	87
7.1.1 概 述	87
7.1.2 时钟数据的写入	89

7.1.3 时钟数据的读取	91
7.2 软件时钟	93
7.2.1 概 述	93
7.2.2 软件时钟的运行	93
7.3 时钟的使用	96
7.3.1 定时任务的管理	96
7.3.2 时间间隔的测量	97
7.3.3 时间长度的控制	98
习 题	99
第 8 章 人机接口	100
8.1 显示部件	100
8.1.1 发光二极管	100
8.1.2 数码管	101
8.1.3 液晶显示屏	105
8.2 微型打印机	114
8.2.1 GP-16 微型打印机的接口电路	114
8.2.2 GP-16 微型打印机的使用	115
8.3 键 盘	119
8.3.1 键盘的类型及接口电路	119
8.3.2 键盘信号的可靠采集	123
8.4 监控程序设计	127
8.4.1 监控程序的基本概念	127
8.4.2 系统状态分析	129
8.4.3 基于顺序编码的监控程序设计	135
8.4.4 基于特征编码的监控程序设计	137
8.4.5 基于菜单操作的监控程序设计	142
习 题	146
第 9 章 常用处理功能	147
9.1 数据处理	147
9.1.1 数据类型的选择	147
9.1.2 定点运算子程序库的使用	148
9.1.3 浮点运算子程序库的使用	149

9.2 误差处理	151
9.2.1 随机误差的处理	151
9.2.2 系统误差的处理	151
9.2.3 粗大误差的处理	152
9.3 标度变换	154
9.3.1 线性标度变换	154
9.3.2 非线性标度变换	155
9.4 常用自动测量功能	158
9.4.1 自动量程转换	158
9.4.2 自动校正	161
9.4.3 自动补偿	164
习 题	166
第 10 章 可靠性设计	167
10.1 抗干扰设计	167
10.1.1 硬件抗干扰设计	168
10.1.2 软件抗干扰设计	169
10.2 容错设计	174
10.2.1 硬件容错设计	175
10.2.2 软件容错设计	178
习 题	188
第 11 章 基于电压测量的智能仪器	189
11.1 智能数字电压表	189
11.1.1 智能数字电压表的结构	189
11.1.2 智能数字电压表主要技术指标	190
11.1.3 智能数字电压表的功能特点	191
11.1.4 智能数字电压表的输入电路	193
11.1.5 智能数字电压表的应用	194
11.2 智能数字万用表	198
11.2.1 概 述	198
11.2.2 交流电压的测量	198
11.2.3 电流的测量	200
11.2.4 电阻的测量	200

11.2.5 智能数字万用表的设计	201
11.3 智能数字 RLC 测量仪	206
11.3.1 概 述	206
11.3.2 RLC 测量电路设计与分析	208
习 题	211
第 12 章 基于时间测量的智能仪器	212
12.1 智能电子计数器基本原理	212
12.1.1 概 述	212
12.1.2 通用电子计数器组成原理	213
12.2 电子计数器分析设计	217
12.2.1 数字频率计的设计	217
12.2.2 智能频率计电路分析	220
12.3 智能相位测量仪	223
12.3.1 原理分析	223
12.3.2 电路工作原理与设计	224
习 题	227
第 13 章 基于波形测量的智能仪器	228
13.1 智能数字示波器基本原理	228
13.1.1 概 述	228
13.1.2 智能数字示波器工作原理	229
13.1.3 智能数字示波器测量技术	230
13.2 智能数字示波器的通信接口	235
13.3 智能数字示波器的特点	236
13.4 智能数字示波器的使用	238
习 题	241
第 14 章 虚拟仪器简介	242
14.1 概 述	242
14.1.1 虚拟仪器的基本概念	242
14.1.2 虚拟仪器的特点	243
14.1.3 虚拟仪器的发展	243
14.2 虚拟仪器的组成结构	244

14.2.1 虚拟仪器的硬件系统	244
14.2.2 虚拟仪器的软件系统	245
14.3 虚拟仪器的软件开发平台	246
14.3.1 LabVIEW 简介	246
14.3.2 LabVIEW 软件包内容简介	247
14.3.3 虚拟仪器典型单元模块	248
习 题	250
参考文献	251

第1章 绪论

1.1 电子仪器的发展历史

仪器是生产、科研等领域中不可缺少的测量和计量器具。随着电子管器件的诞生,电子仪器也随之产生。20世纪电子工业飞速发展,从电子管时代发展到模拟电路时代,再发展到数字电路时代,随后计算机技术高速发展起来。相应的,仪器技术也大致经历了模拟式→数字式→智能式和程控式的发展过程。

1915年美国首先提出峰值电子电压表的设计,1928年已达到商品化。20世纪50年代初期,仪器仪表取得了重大突破,数字技术的出现使各种数字仪器得以问世,将模拟仪器的精度、分辨力与测量速度提高了几个量级。1952年美国NLS公司首先研制出电子管式4位数字电压表。

20世纪60年代中期,测量技术又一次取得了进展,计算机的引入使仪器的功能发生了质的变化:从个别电量的测量转变成测量整个系统的特征参数;从单纯的接收、显示转变成控制、分析、处理、计算与显示输出;从用单个仪器进行测量转变成用测量系统进行测量。

20世纪70年代,计算机技术在仪器仪表中的进一步渗透,使电子仪器在传统的时域与频域之外,又出现了数据域(data domain)测试。

20世纪80年代,由于微处理器被用到仪器中,仪器前面板开始朝键盘化方向发展,过去直观的、用于调节时基或幅度的旋转度盘及选择电压、电流等量程或功能的滑动开关和通/断开关键已经消失。测量系统的主要模式采用机柜形式,全部通过IEEE-488总线送到一个控制器上。测试时,可用丰富的BASIC语言程序进行高速测试。不同于传统独立仪器模式的个人仪器已经得到了发展。

20世纪90年代,电子仪器与测量科学的进步取得了重大的突破性进展。这个进展的主要标志是电子仪器智能化程度的提高,微电子技术的进步将更深刻地影响电子仪器。

1.2 智能仪器的特点

与传统的电子仪器相比较,智能仪器具有以下主要特点。

(1) 智能仪器使用键盘代替传统仪器中的旋转式或琴键式切换开关来实施对仪器的控制,从而使仪器面板的布置和仪器内部有关部件的安排不再相互限制和牵连。例如,传统仪器中与衰减器相连的旋转式开关必须安装在衰减器正前方的面板上,这样,可能由于面板的布置受仪器内部结构的限制,不能充分考虑用户使用的方便;也可能由于衰减器的安装位置必须服从面板布局的需要,从而给内部电气连接带来许多的不便。智能仪器广泛使用键盘,使面板的布置与仪器功能部件的安排可以完全独立地进行,明显改善了仪器前面板及有关功能部件结构的设计。这样既有利于提高仪器技术指标,又方便了仪器的操作。

(2) 微处理器的运用极大地改善了仪器的性能。例如智能仪器利用微处理器的运算和逻辑判断功能,按照一定的算法可以方便地消除由于漂移、增益的变化和干扰等因素所引起的误差,从而提高了仪器的测量精度。智能仪器除具有测量功能外,还具有很强的数据处理能力。例如传统的数字多用表(DMM)只能测量电阻和交直流电压、电流等,而智能型的数字多用表不仅能进行上述测量,而且还能对测量结果进行诸如零点平移,平均值、极值统计分析以及更加复杂的数据处理,使用户从繁重的数据处理中解放出来。目前有些智能仪器还运用了专家系统技术,使仪器具有更深层次的分析能力,帮助人们思考并解决专家才能解决的问题。

(3) 智能仪器运用微处理器的控制功能,可以方便地实现量程自动转换、自动调零、触发电平自动调整、自动校准和自诊断等功能,有力地提高了仪器的自动化测量水平。例如智能型的数字示波器有一个自动分度键(autoscale),测量时只要一按这个键,仪器就能根据被测信号的频率及幅度,自动设置好最合理的垂直灵敏度、时基以及最佳的触发电平,使信号的波形稳定地显示在屏幕上。又例如智能仪器一般都具有自诊断功能,当仪器发生故障时,可以自动检测出故障的部位并能协助诊断故障的原因,甚至有些智能仪器还具有自动切换备件进行自维修功能,极大地方便了仪器的维护。

(4) 智能仪器具有友好的人机对话的能力,使用人员只需通过键盘键入命令,仪器就能实现某种测量和处理功能;与此同时,智能仪器还能通过显示屏将仪器运行情况、工作状态以及对测量数据的处理结果及时告诉使用人员,使人机之间的联系更加密切。

(5) 智能仪器一般都配有 GP-IB 或 RS-232 等通信接口,使智能仪器具有可编程操作的能力,从而可以很方便地与计算机和其他仪器组成用户所需要的多种功能的自动测量系统,来完成更复杂的测试任务。

1.3 智能仪器的结构

智能仪器是电子测量仪器和计算机技术相结合的产物,实际上是一个专用计算机系统。它也由硬件和软件两大部分组成。

1.3.1 硬件系统组成

智能仪器硬件系统的通用结构组成如图 1-1 所示,主要包括微机系统、输入/输出电路、人机接口和通信接口电路 4 部分。

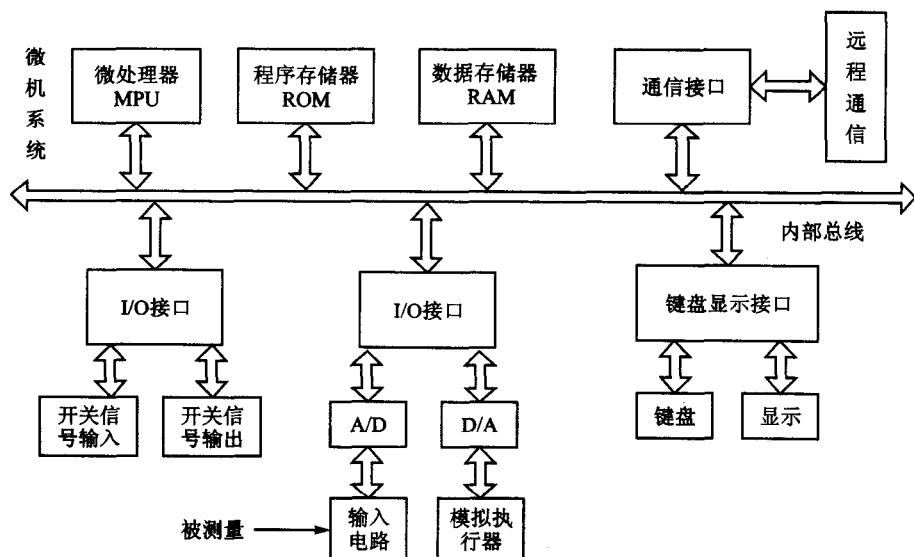


图 1-1 智能仪器通用硬件结构框图

智能仪器的微机系统可选择单片机系统,也可选择计算机系统,主要实现信号的数字化处理和显示、打印、通信等智能化处理的功能。它主要由微处理器(MPU)、程序存储器(ROM)、数据存储器(RAM)和 I/O 接口电路组成。

输入/输出电路主要实现测量信号的转换和数字化转换以及一些闭环仪表的模拟量输出功能,也包括开关量的输入/输出等功能。它主要由输入电路、A/D 转换器、D/A 转换器、模拟执行器和开关信号输入/输出电路组成。它通过 I/O 接口电路与微机系统以总线方式连接。

人机接口电路主要实现操作者和仪器之间的信息交流功能,包括参数的设置、检测信号的显示和打印等功能。它由键盘、显示器和打印机及其接口电路组成。由单片机系统扩展的人机接口部件中,键盘以独立式按键和矩阵式键盘为主;显示器由多个 LED 数码管或 LCD 构成,在工业仪表应用中,有时也用 CRT 显示器;打印机主要指微型打印机。如果是用计算机构成的微机化仪器,这部分电路都包括在计算机系统中,即由主机连接显示器、键盘和打印机组成。

通信接口电路将仪器仪表测量的数据上传给计算机,以便进行数据分析和处理。目前常用的仪器通信接口有 GP-IB 通信接口、RS-232C 接口以及应用于集散控制系统中的 CAN 总线接口和以太网接口。

1.3.2 软件系统组成

智能仪器的软件部分主要包括监控程序和功能执行程序两部分。功能执行程序实现各种实质性的功能,如测量、计算、显示、打印、输出控制和通信等;监控程序是专门用来协调各个执行模块和操作人员关系的程序,在系统程序中充当组织调度的角色。应根据系统功能和键盘设置来选择一种合适的监控程序结构。监控程序的结构大致分作业顺序调度型、作业优先调度型和键码分析作业调度型3种,具体分析将在第8章中介绍。

1.4 智能仪器的基本设计思想

1. 模块化设计

根据仪器的功能要求和技术指标,遵循自顶向下、由大到小、由粗到细的思想,按仪器的功能层次,把硬件和软件分成若干个模块,分别进行设计和调试;然后把它们连接起来,进行总调。这就是智能仪器的模块化设计思想。为了保证仪器的质量,提高研制效率,设计人员应该在正确的设计思想指导下,按照一个合理的步骤进行开发。

在硬件设计上通常分成主机、输入/输出通道、人机接口部件、通信接口和电源等几个模块;在软件设计上分成监控程序(包括初始化、键盘和显示管理、中断管理、时钟管理及自诊断等)、中断处理程序以及各种测量和控制算法等功能模块。这些硬件、软件模块还可以分成更小、更细的模块,即各个模块由下一层次更为具体的模块来支持和实现。

模块化设计的优点:无论是硬件还是软件,每一个模块都相互独立,能进行独立的设计、研制、调试和修改,从而使复杂的设计过程简单化。

2. 模块之间的连接

各种软、硬件模块研制调试完成后,需要按一定的方法连接起来,才能构成完整的仪器,实现数据的采集、传输、处理和输出等各项功能。

软件模块的连接,一般通过监控程序调用各种功能模块,或采用中断方法实时地执行相应服务模块来实现,并且按功能层次继续调用下一级模块。由数据变量和标志变量形成的数据接口连接各个软件模块。

硬件模块的连接方法有两种:一是以主机系统为核心,通过内部三总线(数据总线、地址总线和控制总线)连接各个硬件模块;二是采用标准并行总线(ISA或PCI总线)或I²C等串行总线来连接各个硬件模块,它是基于计算机系统为核心的一种微机化仪器仪表的设计方法。

1.5 智能仪器的研制过程

电子仪器的研制过程是一个复杂的过程,包括分析仪器的功能需求和拟定总体设计方案,

确定硬件结构和软件算法,研制逻辑电路和编写程序以及仪器的调试和性能测试等过程。现在大多数电子仪器都需要智能化设计,所以下面主要介绍智能仪器的研制过程。

智能仪器是以微处理器为核心的电子仪器,它不仅要求设计者熟悉电子仪器的工作原理,而且还要掌握微型计算机硬件和软件的原理,因而其设计不能完全沿用传统电子仪器的设计方法和手段。

设计研制一台智能仪器的一般开发过程如图1-2所示。其大致可以分为3个阶段:确定任务与拟定设计方案阶段;硬件和软件设计及仪器仪表结构设计阶段;仪器统调与性能测试阶段。下面简要介绍各阶段的设计原则和工作内容。

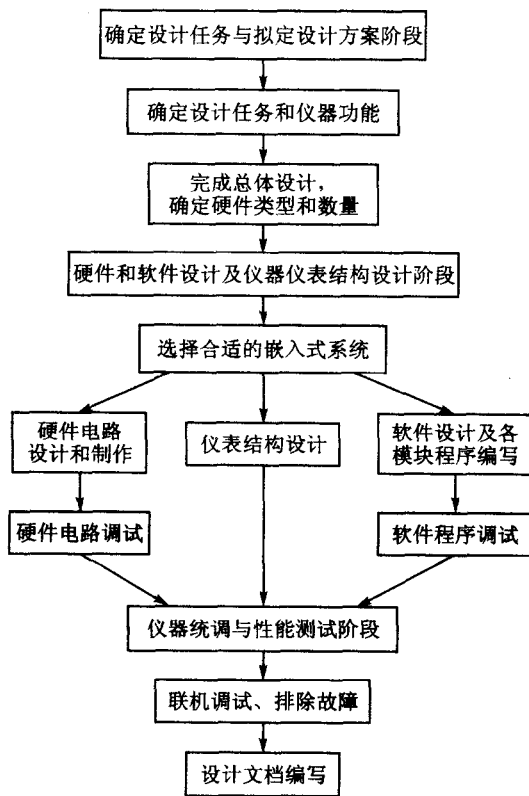


图1-2 设计、研制智能仪器的基本过程

1.5.1 确定设计任务与拟定设计方案

1. 确定设计任务和仪器功能

首先根据仪器最终要达到的设计目标,确定仪器须完成的任务和应该具备的功能。例如