



工业和信息化部“十二五”规划教材

智能仪器技术及 工程实例设计

Zhinengyiqi Jishu Ji Gongcheng Shili Sheji

高云红 冯志刚 吴星刚 编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



工业和信息化部“十二五”规划教材

智能仪器技术及工程实例设计

高云红 冯志刚 吴星刚 编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书从单片机技术、人机接口、数据采集、通信接口、软件设计、智能化处理和抗干扰技术等方面系统地阐述了以单片机为核心的智能仪器的体系结构及软硬件设计方法,教材体系完整,内容丰富。作为工程实践性较强的教材,书中含有许多设计实例,并给出了仿真电路与 C51 程序,每章均配有习题,便于学生的学习和掌握。

本书可作为普通高等院校测控技术与仪器、电子信息、自动控制等专业的本科生教材或教学参考书,也可供从事单片机系统及智能仪器应用与开发设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器技术及工程实例设计 / 高云红, 冯志刚,
吴星刚编. — 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015. 5
ISBN 978-7-5124-1753-3

I. ①智… II. ①高… ②冯… ③吴… III. ①智能仪
器—高等学校—教材 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 068923 号

版权所有,侵权必究。

智能仪器技术及工程实例设计

高云红 冯志刚 吴星刚 编

责任编辑 刘晓明 潘晓丽

*

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(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司 印装 各地书店经销

*

开本:787×1 092 1/16 印张:20.75 字数:531 千字

2015 年 8 月第 1 版 2015 年 8 月第 1 次印刷 印数:3 000 册

ISBN 978-7-5124-1753-3 定价:46.00 元

前 言

智能仪器是计算机技术与检测技术、仪器仪表技术相结合的产物,在测量的准确度、灵敏度、速度、测试功能的多样性等方面具有传统仪器无法比拟的优势。其广泛应用于测量、控制、通信、医学仪器以及科学研究方面,是现代仪器发展的主流。本书以培养具有创新精神和实践能力的人才为目的,以提高学生的分析、解决实际问题的能力为出发点,较全面、系统地介绍了以单片机为核心的智能仪器的体系结构及软硬件设计方法。

全书共分9章。第1章介绍智能仪器的基本组成、设计要点及智能仪器的发展趋势;第2章介绍智能仪器的主机电路STC89系列单片机的一些基本内容;第3章介绍智能仪器人机接口设计;第4章介绍智能仪器数据采集系统及模拟量输出通道设计;第5章介绍智能仪器通信接口技术;第6章介绍智能仪器的软件设计,包括开发环境和编程语言的选择、基于裸机的软件设计方法和基于操作系统的设计方法;第7章介绍智能仪器的智能化处理技术,包括测量误差的处理方法、数字滤波、标度变换、量程自动转换及故障自诊断等智能化技术;第8章介绍智能仪器的抗干扰技术;第9章结合实际介绍4种智能仪器系统的设计实例。本书每一章皆配有习题,以便学生复习。

作为工程实践性较强的教材,本书在讲清基本原理的基础上,着重讨论在智能仪器设计过程中所涉及的具体方法和实际设计技术。书中含有许多设计实例,并给出了Proteus仿真电路与C51程序,以便于学生学习和掌握。书中最后利用单独一章给出了4个智能仪器的设计实例,并在设计中尽量采用前面章节讲述过的硬件电路与设计方法,对系统功能进行适当的简化处理,使其既满足工程设计要求又降低了学生学习的难度,有利于学生综合设计能力的培养和提高。考虑到目前高等院校课程的教学内容,本书论述以目前应用较为广泛的STC89系列单片机为背景的智能仪器。

本书由高云红、冯志刚和吴星刚编写。高云红编写第1、3、5、6、7、8、9章及2.1~2.2节、2.4~2.6节,冯志刚编写第4章,吴星刚编写2.3节。高云红负责全书的内容安排和统稿。哈尔滨工业大学的丁明理教授和沈阳航空航天大学的张庆新教授对本书作了认真的审阅,提出了宝贵的修改意见;沈阳航空航天大学自动化学院的田丰教授、李一波教授、卢艳军副教授、徐涛副教授对本书的编写给予了关心和指导。本书在编写过程中参阅了许多教材、著作和论文,得到了北京航空航天大学出版社的大力支持和帮助。很多学生在本书的成稿过程中提出了修改建议并参与了部分系统的调试与仿真工作。在此,我们谨向直接或间接帮助



过本书出版的所有同志表示诚挚的谢意。

为了方便教学,本书配有电子课件,向采纳本书作为教材的任课教师免费提供。

由于电子技术发展迅速,且作者水平有限,加之编写时间仓促,书中难免存在错误和不足之处,恳请相关专家和各位读者批评指正。

作者

2015年1月



目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 智能仪器的基本组成及特点	1
1.1.1 智能仪器的组成	1
1.1.2 智能仪器的特点	1
1.2 智能仪器的设计要点	2
1.2.1 智能仪器的设计原则	2
1.2.2 智能仪器的研制步骤	3
1.2.3 智能仪器的调试	5
1.3 智能仪器主机电路的选择	5
1.3.1 基于 80C51 内核的单片机	6
1.3.2 基于 ARM 内核的单片机	7
1.3.3 基于 DSP 内核的单片机	9
1.4 智能仪器的发展趋势	9
习 题	10
第 2 章 STC89 系列单片机	12
2.1 硬件基础知识	12
2.1.1 主要特性及内部结构	12
2.1.2 引脚及其功能	13
2.1.3 CPU 结构	14
2.1.4 存储器结构	16
2.1.5 I/O 端口	18
2.1.6 时钟电路与复位电路设计	21
2.2 指令系统与汇编语言程序设计	22
2.2.1 指令格式	23
2.2.2 寻址方式	23
2.2.3 指令系统	24
2.2.4 汇编语言程序设计	32
2.3 Keil C51 程序设计	34
2.3.1 C51 的数据结构	34
2.3.2 运算符和表达式	41
2.3.3 C51 流程控制语句	43
2.3.4 函 数	46
2.3.5 C51 语言与汇编语言混合编程	48

2.4 中断系统	49
2.4.1 中断系统的结构	50
2.4.2 中断系统控制寄存器	51
2.4.3 中断响应原则及过程	53
2.5 定时器/计数器	57
2.5.1 定时器/计数器的内部结构及工作原理	57
2.5.2 定时器/计数器的方式和控制寄存器	58
2.5.3 T0 和 T1 的工作方式及应用	60
2.5.4 T2 的工作方式及应用	66
2.6 串行接口	71
2.6.1 串行口的内部结构及功能	71
2.6.2 串行口工作方式及应用	73
习 题	79

第3章 智能机器人机接口设计 81

3.1 LED 显示及接口设计	81
3.1.1 七段 LED 显示器工作原理及接口设计	81
3.1.2 点阵式 LED 显示器工作原理及接口设计	85
3.2 键盘与接口设计	88
3.2.1 键盘的工作原理	88
3.2.2 非编码式键盘接口电路及控制程序设计	91
3.3 键盘/显示器接口设计	97
3.3.1 通用可编程接口芯片实现键盘显示器接口设计	97
3.3.2 键盘显示器可编程专用接口芯片	99
3.4 LCD 显示及接口设计	100
3.4.1 液晶显示器工作原理	100
3.4.2 点阵式字符型液晶显示模块接口设计	101
3.4.3 点阵式图形型 LCD 显示模块及接口设计	108
3.5 微型打印机及接口设计	113
3.5.1 RG-E487A 打印命令	114
3.5.2 RG-E487A 并行接口电路设计	115
3.5.3 RG-E487A 串行接口电路设计	116
习 题	118

第4章 智能仪器数据采集系统及模拟量输出通道设计 119

4.1 数据采集系统的组成	119
4.2 传感器的选用原则	121
4.3 模拟信号放大电路	122
4.3.1 仪用放大器	122



4.3.2	程控增益放大器	124
4.3.3	隔离放大器	125
4.4	模拟多路开关及接口	127
4.5	模拟信号的采样与保持	129
4.5.1	采样保持电路的功能及原理	129
4.5.2	采样/保持器的性能指标及选用原则	130
4.5.3	集成采样/保持器举例	132
4.6	A/D 转换器及接口设计	133
4.6.1	A/D 转换器概述	133
4.6.2	逐次比较式 A/D 转换器及接口设计	134
4.6.3	积分式 A/D 转换器及接口设计	143
4.6.4	V/F 转换器及接口设计	149
4.7	A/D 数据采集系统设计实例	152
4.7.1	数据采集系统的参数设计和选择	152
4.7.2	集成数据采集系统的原理和应用	155
4.8	模拟量输出通道接口设计	159
4.8.1	D/A 转换器的性能指标	159
4.8.2	D/A 转换器及接口设计	161
	习 题	169
第 5 章	智能仪器通信接口技术	171
5.1	串行通信接口	171
5.1.1	串行通信	171
5.1.2	RS-232C 串行通信接口	173
5.1.3	RS-422 串行通信接口	177
5.1.4	RS-485 串行通信接口	178
5.2	GP-IB 并行接口总线	182
5.2.1	GP-IB 接口系统的基本特性	183
5.2.2	GP-IB 总线结构	184
5.2.3	接口消息及编码	185
5.2.4	接口功能	187
5.2.5	GP-IB 接口芯片	188
5.3	现场总线	189
5.3.1	现场总线技术	189
5.3.2	CAN 总线	191
5.4	无线通信技术	193
5.4.1	短距离无线数据通信技术	193
5.4.2	nRF24L01 无线通信模块及设计实例	195
5.4.3	ZigBee 无线通信技术及设计实例	204

习 题	208
第 6 章 智能仪器的软件设计	209
6.1 智能仪器的软件开发环境和编程语言	209
6.1.1 软件开发环境	209
6.1.2 编程语言的选择	210
6.1.3 智能仪器的软件设计过程	210
6.2 基于裸机的软件设计方法	214
6.2.1 软件任务分析与规划	214
6.2.2 软件设计方法	215
6.2.3 系统监控程序设计	218
6.3 基于嵌入式操作系统的软件设计	220
6.3.1 嵌入式操作系统	220
6.3.2 基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的嵌入式软件设计方法	221
6.3.3 嵌入式软件开发过程	223
习 题	225
第 7 章 智能仪器的智能化处理技术	226
7.1 测量误差分类及处理方法	226
7.1.1 测量误差分类	226
7.1.2 消除系统误差的方法	228
7.1.3 克服随机误差的方法	233
7.1.4 消除粗大误差的方法	234
7.2 数字滤波	236
7.2.1 克服大脉冲干扰的数字滤波法	236
7.2.2 抑制小幅度高频噪声的平均滤波法	239
7.2.3 复合滤波法	241
7.2.4 数字低通滤波法	242
7.3 智能仪器的标度变换技术	244
7.3.1 标度变换的硬件实现方法	245
7.3.2 标度变换的软件实现方法	246
7.4 智能仪器的量程自动转换技术	248
7.4.1 量程自动转换原理	248
7.4.2 量程上、下限的确定	250
7.4.3 量程自动转换性能的提高	251
7.5 智能仪器的故障自诊断	252
7.5.1 自诊断方式	252
7.5.2 自诊断内容及方法	253
7.5.3 自检软件	259



习 题	260
第 8 章 智能仪器的抗干扰技术	261
8.1 干扰的产生及分类	261
8.1.1 干扰的来源	261
8.1.2 干扰的耦合方式	262
8.2 串模及共模干扰的抑制	264
8.2.1 串模干扰及抑制	264
8.2.2 共模干扰及抑制	266
8.3 抑制干扰的硬件措施	268
8.3.1 空间辐射的干扰抑制	268
8.3.2 信号传输通道的干扰抑制	271
8.3.3 电源干扰抑制	276
8.4 软件抑制干扰技术	277
8.4.1 软件陷阱技术	278
8.4.2 程序运行监视系统	279
习 题	282
第 9 章 智能仪器设计实例	283
9.1 智能温度巡检仪的设计	283
9.1.1 智能温度巡检仪的功能要求	283
9.1.2 智能型温度巡检仪的硬件电路设计	283
9.1.3 智能型温度巡检仪的软件设计	286
9.2 气压式高度表的设计	292
9.2.1 气压高度的测量原理	292
9.2.2 气压高度表的硬件系统设计	294
9.2.3 气压高度表的软件设计	295
9.3 点阵式 LED 信息显示平台设计	298
9.3.1 点阵式 LED 信息显示平台的功能分析与方案设计	298
9.3.2 信息平台的硬件设计	299
9.3.3 信息平台的软件设计	307
9.4 基于虚拟仪器的 MEMS 陀螺仪静态性能测试系统设计	311
9.4.1 虚拟仪器简介	312
9.4.2 主要参数计算方法	313
9.4.3 测试系统整体方案设计	314
9.4.4 测试系统软件设计	316
习 题	319
参考文献	320

第1章 绪论

19世纪,随着电磁效应的发现,出现了以电磁感应定律为基础的磁电式仪器仪表,如伏特表、安培表和功率表等。20世纪初,随着电子技术的发展,出现了以电子管和晶体管等电子器件为基础的各类电子仪器,如电子示波器、信号发生器等。这些磁电式和电子式模拟仪表统称为第一代仪器仪表,即模拟式仪器仪表。这一代仪器功能简单,精度低,响应速度慢。20世纪中期以后,随着自动控制技术和集成电路技术的出现和成熟,出现了以集成电路芯片为基础的第二代仪器仪表即数字式仪器仪表,如数字电压表、数字电流表等。这类仪器仪表的特点是将测量的模拟信号转变为数字信号进行测量和输出,其测量精度高,速度快,读数清晰、直观,容易与计算机技术相结合。随着微电子技术与计算机技术的迅速发展,20世纪70年代出现了内含微处理器的第三代仪器仪表,即智能仪器。它具有数据存储、运算、逻辑判断能力,能根据被测参数的变化做一些需要人类智慧才能完成的工作,如自选量程、自动校正、自寻故障等,即具备了一定的智能,故称为智能仪器。智能仪器凭借其体积小、功能强、功耗低等优势,在家用电器、科研和工矿企业中得到了广泛的应用。

1.1 智能仪器的基本组成及特点

习惯上把内含微型计算机并带有 GP-IB 等通信接口,能独立进行测试工作的电子仪器称为智能仪器。智能仪器配有标准通信接口,能独立完成测试工作并进行远程通信,是现阶段电子仪器的主体。

1.1.1 智能仪器的组成

智能仪器实际上是一种专用的微型计算机系统,由硬件和软件两大部分组成。硬件部分包括主机电路、模拟信号输入/输出通道、人机接口电路及通信接口电路,通用结构框图如图 1-1 所示。主机电路通常由微处理器、程序存储器、数据存储器及 I/O 接口电路等组成,用来存储程序、数据并进行一系列运算和处理,是智能仪器的核心部分;模拟量输入/输出通道,主要由 A/D 转换电路及 D/A 转换电路等组成;人机接口电路是操作者和仪器之间的联系通道,包括键盘、显示器和打印机等;通信接口电路用于实现智能仪器与其他外部系统之间的联系,具有远距离数据通信功能,便于组成测控系统。

智能仪器的软件通常由监控程序和各種功能程序组成。监控程序用于监控整个系统的运行,是仪器系统软件设计的核心,具有人机对话和远程控制功能,使系统按照操作者的意图或遥控命令来完成指定的作业。功能程序模块则完成某項具体指定的任务,包括输入/输出操作模块、数据处理模块、通信模块及各種服务模块(如系统时钟、初始化、故障检测等),不同仪器其功能模块的种类和任务会有很大的差别。

1.1.2 智能仪器的特点

电子仪器与微处理器的结合,使得智能仪器不再是简单的硬件实体,而是硬件、软件相结

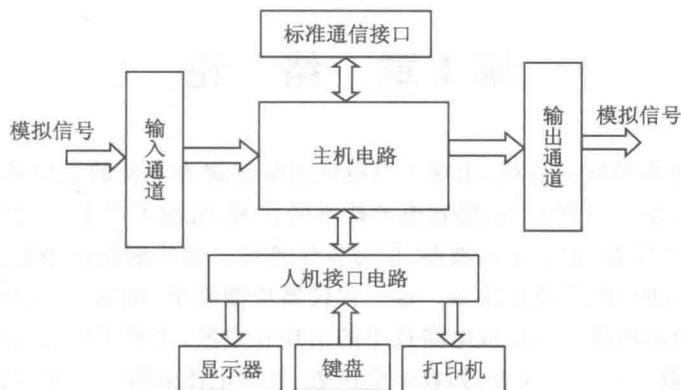


图 1-1 智能仪器通用结构框图

合的新型仪器,且软件在仪器中起了重要作用。与传统的仪器相比,智能仪器具有以下特点:

① 智能仪器具有友好的人-机对话能力。一方面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,并且省却了繁琐的人工调节;另一方面智能仪器均采用了面板显示,包括 LED 和 LCD 显示等,显示字迹清晰、直观。

② 智能仪器具有可编程操作能力。智能仪器一般都配有 GP-IB 或 RS-232C 等通信接口,使智能仪器具有可编程操作的能力,可以方便地与计算机和其他仪器一起组成功能强大的自动测试系统,完成更加复杂的测试任务。

③ 硬件软化。智能仪器与微处理器结合,使得许多硬件逻辑都可用软件取代,内部结构和前面板大为改观,降低了成本、功耗和体积,提高了系统的可靠性。

④ 微处理器的运用极大地提高了仪器的功能和性能。运用微处理器的算术运算和逻辑处理能力,在软件的配合下使智能仪器的功能大大增强。例如,传统的数字多用表只能测量电压、电流及电阻,而带有微处理器的数字多用表不仅能测量,还能对测量结果进行平均值和极值的运算,统计分析并具有更加复杂的数据处理功能。另外,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、自动校准、自诊断等功能,改善了仪器的自动化测量水平。

1.2 智能仪器的设计要点

智能仪器是以微型计算机为核心的电子仪器,其设计过程不同于传统的电子仪器,要求设计者既要熟悉电子仪器的工作原理,又要熟悉微型计算机系统的软硬件设计方法。

1.2.1 智能仪器的设计原则

智能仪器的研制开发是一个较为复杂的过程,为提高研制效率,设计人员必须遵循正确的设计原则。智能仪器的设计原则包括:从整体到局部、软硬件相协调及开放式与组合化设计。

智能仪器设计应遵循从整体到局部的设计原则,即把复杂的、难以处理的综合问题,分解为若干个较为简单并容易处理的问题,然后逐个加以解决。设计人员设计时,首先根据仪器功



能和设计要求提出设计的总任务,然后将总任务分解成一批相互独立的子任务。子任务可以继续细分,直到每个低级的子任务足够简单,容易实现为止。子任务完成后,将所有结果汇总起来并作必要的调整,即可完成设计任务。

由于微处理器的引入,使得智能仪器的某些功能既可由硬件完成,也可由软件完成,如滤波、定时及逻辑运算等。使用硬件,可以提高仪器的工作速度,减少编程的复杂性,但是同时增加了硬件成本,并且也增加了系统出现故障的机会。而使用软件恰好相反,它降低了系统的运行速度,提高了编程的复杂性,但降低了硬件成本,减少了系统的故障概率。随着大规模集成电路的迅猛发展,其功能不断增强,价格逐渐下降,对于设计中到底是以软件代替硬件,还是以硬件代替软件,必须根据系统的规模、功能、指标和成本等因素综合考虑,二者相互协调、折中,仔细权衡。

随着科学技术的迅猛发展,电子产品的更新换代时间不断缩减,智能仪器如何能适应市场的激烈竞争,满足用户不断变化的需求,是当今仪器设计中需要考虑的问题。目前在电子工业和计算机工业中推行一种“开放式系统”的设计思想,即在技术上兼顾现在和未来,为以后新技术的应用留有余地。设计开放式系统的方法是基于国际上流行的工业标准总线结构,针对不同的应用系统要求,选用现成的硬件模块和软件进行组合理化设计。

1.2.2 智能仪器的研制步骤

研制一台智能仪器主要分为四个阶段:确定任务、拟制设计方案阶段;硬件、软件研制设计阶段;联合调试及性能测试阶段;以及编制技术文件阶段。其一般开发过程如图1-2所示。

1. 确定任务、拟制设计方案

根据智能仪器最终要完成的设计目标,确定其应具备的功能和应达到的设计指标。例如,仪器的测量精度、使用环境、成本及测量信号类型等,以此作为其软、硬件设计的依据。

设计人员应根据设计的要求提出几种可能的方案。每个方案应包括仪器的测量原理,采用的技术和重要的元器件等,并对各方案进行充分的调查论证,最终确定仪器的总体设计方案。主机电路是整个仪器的核心部件,应从功能和性能价格比等多方面进行认真考虑。采用自顶向下的设计原则,把仪器划分成若干个便于实现的功能模块,绘制仪器的总体工作框图,拟制详细的工作计划,按功能模块分解成若干子任务,进行具体的软硬件设计。在智能仪器设计中,有些功能模块既可以用硬件完成,也可以用软件完成,设计人员应充分考虑成本、研制周期、精度等多方面的因素,合理确定硬件和软件的使用比例。一般来说,多用硬件可以简化软件的设计工作,有利于增强仪器的实时性,但会增加相应的仪器成本;若用软件代替硬件,可减少元器件的使用,但增加编程的复杂性,并使系统的速度降低。设计者在设计过程中,应反复权衡,对硬件和软件的比例作出合理的安排,从而确定硬件的类型和数量。

2. 硬件、软件研制设计

当总体方案确定下来之后,硬件电路的设计和软件编制工作就可以同时进行。设计中二者应相互配合,充分发挥微型计算机的特长,尽可能缩短研制周期,提高设计质量。

硬件电路设计的一般过程是先根据仪器硬件框图按模块分别对各单元电路进行设计,包括输入/输出通道、信号调理电路、主机电路、人机接口电路及通信接口等,再进行组合。设计时尽可能采用典型电路,并采取相应的抗干扰措施,包括去耦滤波、合理走线、通道隔离等。在

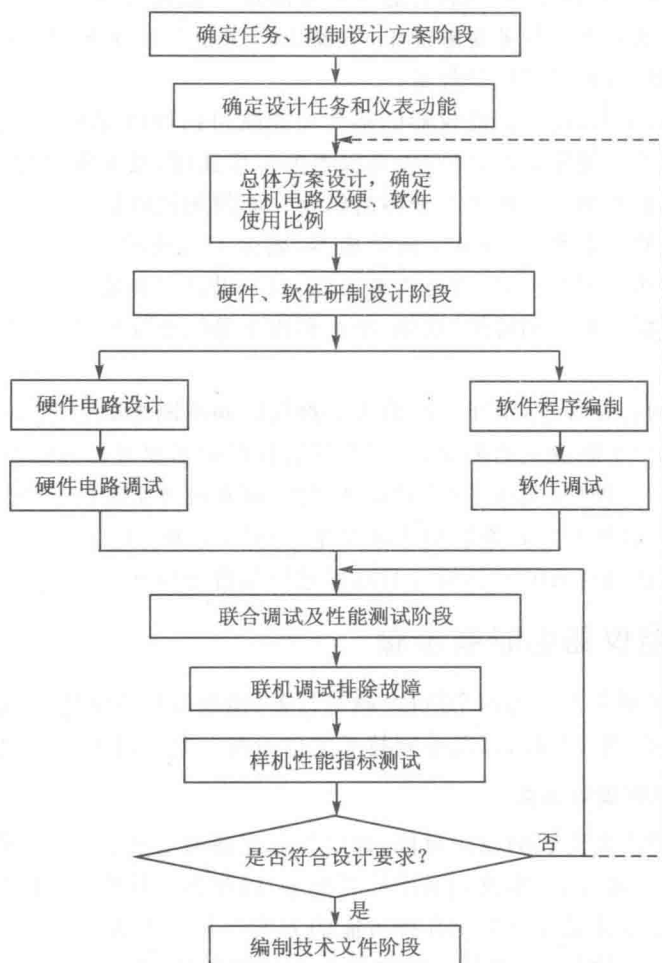


图 1-2 研制智能仪器的一般过程

完成电路设计、绘制好布线图后,要反复核对无误方可加工印刷电路板,进行装配与调试。调试时通常是编制一些小的调试程序,利用开发系统对各电路板进行调试。

软件设计时,按照软件总体框图中的各个功能模块分别进行设计。要求画出各功能模块的详细流程图,并选择合适的语言进行编写,最后按照软件总体设计的结构框图进行整合,形成完整的程序。调试时也是利用开发系统按模块分别进行调试,然后再连接起来进行总调。

3. 联合调试及性能测试

智能仪器的一个突出特点就是硬件和软件联系紧密,因此硬件和软件分别调试合格后,就要对硬件、软件进行联合调试。调试中可能会遇到各种问题,若属于硬件故障,就修改硬件电路的设计;若属于软件问题,就修改相应程序;若属于系统问题,则应对硬件和软件同时予以修改,如此反复,直至合格。之后投入实际应用环境,测试其可靠性并对系统所要求的全部功能进行检测和评价,以确定仪器是否符合预定性能指标。若某项功能或指标达不到要求,则应变动硬件或修改软件,重新调试直至满足要求。



4. 编制技术文件

系统完成后,还要进行设计文件的编制,以对仪器研制过程加以总结并满足后续的使用、维修和再设计的需要。设计文件应包括:设计方案论证;性能测定和现场使用报告;使用者操作说明;硬件资料(包括电路原理图,元件布置和接线图,接插件引脚图和印刷电路板图等);程序资料(包括软件框图和说明、标号和子程序名称清单、参量定义清单、存储单元和输入/输出地址分配表以及程序清单等)。

1.2.3 智能仪器的调试

智能仪器的硬件和软件设计完成之后,应进行反复调试,直到没有错误为止。硬件调试时,首先利用万用表对系统线路进行检查,重点检查系统总线是否相互短路或与其他信号线短路,尤其是要防止电源短路;通电后检查各集成电路芯片插座上的电压值和极性是否正确;最后可以利用示波器检查时钟信号、脉冲信号,用电压表检查元件的工作状态,用逻辑测试笔测试逻辑电平等。软件调试时,首先利用编译软件查出源程序的语法错误,然后利用软件模拟开发系统,在计算机上实现对系统的硬件模拟、指令模拟及运行状态模拟等,从而完成软件的初步调试。模拟开发系统的最大缺点是不能对硬件部分进行诊断和实时在线仿真。

由于智能仪器的硬件和软件密切相关,因此对系统动态故障的检查和诊断必须在联机状态下借助仿真开发工具完成。仿真开发工具也称为开发系统。一个完整的开发系统由硬件和软件两大部分构成。硬件主要由主处理机、在线仿真器和 EPROM 或 OTP 编程器组成。主处理机(一般为微型计算机)是开发系统的核心,硬件动作及软件运行完全由其进行控制,操作人员利用键盘向开发系统下达各种命令,执行结果通过显示终端进行显示;在线仿真器是开发系统的关键部件,能够为用户程序提供良好的运行环境,其将目标样机与开发系统联系起来,在实际目标的硬件环境下,全面调试用户程序;程序调试完成后,需要利用 EPROM 或 OTP 编程器将程序和固定数据写入存储器中,使样机脱离开发系统独立运行。开发系统的软件一般由编辑程序、编译程序及动态调试程序组成,其中编辑程序和编译程序的运行不需要在线仿真器配合,而动态调试程序的运行则需要在线仿真器的配合。对系统进行在线调试时,要拔掉样机上的微处理器芯片,将在线仿真器提供的插头插入到芯片对应的插座上。在线仿真器有许多功能,可以检查和修改样机系统中所有寄存器和 RAM 单元的内容,能够单步或连续地执行目标程序,也可以根据需要设置断点来中断程序的运行等。

1.3 智能仪器主机电路的选择

在智能仪器系统中,通常把微处理器以及与其相连的存储器和 I/O 接口电路称为主机电路。其实际上就是一个微型计算机,是智能仪器的核心部件。由于主机电路的性能直接影响智能仪器系统的软硬件设计,并对其功能和性能起决定性作用,因此在设计任务确定之后,首先应对智能仪器的主机电路进行认真的选择和设计。随着超大规模集成电路技术的迅猛发展,8 位/16 位单片机的性能有了较大的提升,是目前智能仪器主机电路的主要形式。

单片机就是在一片半导体硅片上集成 CPU、RAM、ROM、并行 I/O、串行 I/O、定时器/计数器、中断系统、系统时钟电路及系统总线的微型计算机,因而被称为单片微型计算机,简称单片机(single chip)。它的特点是硬件结构简单、运算速度快、控制功能强,主要应用于测控领



域。在使用单片机时,其通常是处于测控系统的核心地位并嵌入其中,所以国际上通常把单片机称为嵌入式控制器(EMCU, Embedded Micro Controller Unit),或微控制器(MCU, Micro Controller Unit)。世界上大约有 500 多家单片机生产厂商,生产有成千上万种单片机产品。对单片机的选择主要从价格、字长、输入/输出执行速度、编程灵活性、寻址能力、中断功能、直接存储器访问能力、配套的外围电路芯片是否丰富以及相应的开发系统是否具备等多方面进行综合考虑,其中价格及研制周期是诸多因素中首要考虑的问题。

1.3.1 基于 80C51 内核的单片机

最早进入我国并在我国得到广泛应用的是 Intel 公司的 MCS-51 系列单片机,包括基本型和增强型,如表 1-1 所列。20 世纪 80 年代中期以后,Intel 公司逐渐淡出单片机芯片的开发和生产,并将 8051 内核技术以专利形式转让给 Atmel、Philips、Cygna 等公司。这些公司生产的单片机与 8051 兼容,采用 CMOS 工艺,因而常用 80C51 系列单片机来称呼所有这些具有 8051 指令系统的单片机,或简称为 51 单片机。

表 1-1 MCS-51 系列单片机的片内硬件资源

类型	型号	片内程序存储器	片内数据存储器容量/B	I/O 口线位数/位	定时器/计数器个数/个	中断源个数/个
基本型	8031	无	128	32	2	5
	8051	4 KB ROM	128	32	2	5
	8751	4 KB EPROM	128	32	2	5
增强型	8032	无	256	32	3	6
	8052	8 KB ROM	256	32	3	6
	8752	8 KB EPROM	256	32	3	6

在众多衍生机型中,Atmel 公司的 AT89 系列单片机,在 8 位单片机市场中占有较大的市场份额。Atmel 公司的技术优势是闪烁(Flash)存储器技术,将 Flash 技术与 80C51 内核相结合,形成了片内带有 Flash 存储器的 AT89C5x/AT89S5x 系列单片机。该系列与 MCS-51 系列在原有功能、引脚以及指令系统方面完全兼容。此外,某些品种又增加了一些新的功能,如看门狗定时器 WDT、在系统编程 ISP 及 SPI 串行接口等。片内 Flash 存储器允许在线(+5 V)电擦除、电写入或使用编程器对其重复编程。

AD μ C8xx 系列单片机是美国模拟器件公司生产的高性能单片机,其内部包含了高精度的自校准 8 通道 12 位模/数转换器、2 通道 12 位数/模转换器以及与 8051 单片机兼容的 MCU 内核和指令。片内有 8 KB Flash 程序存储器、640 B Flash 数据存储器、256 B 数据 SRAM、片内集成看门狗定时器、电源监视器以及 DMA。其为多处理器接口和 I/O 扩展提供了 32 条可编程的 I/O 线、兼容 I²C 的串行接口、SPI 串行接口和标准 UART 串行接口。AD μ C812 的 MCU 内核和模/数转换器均设有正常、空闲和掉电工作模式,可通过软件进行控制。掉电模式下总电流约为 5 μ A。

STC 单片机是宏晶科技推出的新一代高速、低功耗、超强抗干扰的单片机,其指令代码完全兼容传统 8051 单片机。STC 单片机在出厂时已经完全加密,用户程序由 ISP/IAP 机制写



入,编程时是一边校验一边写,无法读出命令,增加了解码难度。STC89 系列单片机提供了 12 时钟和 6 时钟两种时钟模式,单片机通过较低的时钟频率能够达到同样的功能,降低了功耗。支持 ISP/IAP,不需要专用编程器/仿真器,通过串口可直接下载用户程序。

在目前的应用中,8 位单片机的性能基本能够满足大部分的实际需求,因此除了在控制过程相当复杂和对速度要求较高的场合,一般的独立式智能仪器都尽量优先考虑采用 8 位单片机。本书主要讲述以 STC89 系列单片机为核心的智能仪器设计技术。

1.3.2 基于 ARM 内核的单片机

ARM 单片机是以 ARM 处理器为核心的一种单片微型计算机,是近年来随着电子设备智能化和网络化程度不断提高而出现的新兴产物。ARM 是一家微处理器设计公司的名称,世界很多知名的半导体电子公司都与其建立了合作伙伴关系,包括国内许多公司也从 ARM 公司购买芯片核心技术用于设计专用芯片。ARM 公司目前主要授权三个系列的芯片设计——ARM9、ARM11 和 Cortex。常见的具有 ARM 内核的单片机有 Atmel 公司的 AT91 系列微控制器,Philips 公司的 LPC2100、LPC2200 系列微控制器,以及 Cirrus Logic 公司的 EP 系列和 Samsung 公司的 S3C44B0、S3C2440 等微控制器。目前的 ARM 单片机采用了新型的 32 位 ARM 核处理器,使其在指令系统、总线结构、调试技术、功耗以及性价比等方面都超过了传统的 51 系列单片机;同时,ARM 单片机在芯片内部集成了大量的片内外设,所以功能和可靠性都大大提高,成为了时下的高端主流产品。

1. ARM 单片机的结构特性

- ① 具有统一和固定长度的指令域,使指令集和指令译码都大为简化。
- ② 具有一个大而统一的寄存器文件,大多数数据操作都在寄存器中完成,使指令执行速度更快。
- ③ 采用加载/存储结构,使数据处理时只对寄存器操作,而不直接对存储器操作。
- ④ 寻址方式简单而灵活,所有加载/存储的地址都只由寄存器的内容和指令域决定,执行效率高。
- ⑤ 每一条数据处理指令都对算术逻辑单元和移位寄存器进行控制,以最大限度地提高算术逻辑单元和移位寄存器的利用率。
- ⑥ 采用自动增减地址的寻址方式,有利于优化循环程序的执行。
- ⑦ 引入多寄存器加载/存储指令,有利于实现数据吞吐量的最大化。
- ⑧ 所有指令的条件执行均有利于实现最快速的代码执行。

2. ARM 芯片选择的一般原则

由于 ARM 芯片有多达十几种的内核结构,几十个芯片生产厂家,以及千变万化的内部功能配置组合,这给开发人员在选择方案时带来一定的困难。选择 ARM 芯片时,一般按照以下几个方面进行考虑。

(1) ARM 内核

如果需要使用 Windows CE 或 Linux 等操作系统来减少软件开发时间,则需要选择 ARM720T 以上带有 MMU (Memory Management Unit) 功能的 ARM 芯片,例如 ARM720T、ARM920T、ARM922T 等都带有 MMU 功能。而 ARM7TDMI 没有 MMU,不支