



普通高等教育“十三五”规划教材
电子信息科学与工程类专业 规划教材

智能仪器原理与设计

—— 基于STC15系列 可在线仿真8051单片机

◆ 朱兆优 等编著 ◆ 姚永平 主审

Electronic Information
Science and Engineering



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

电子信息科学与工程类专业规划教材

智能仪器原理与设计

——基于 STC15 系列可在线仿真 8051 单片机

朱兆优 周航慈 胡文龙
刘琦 朱日兴 吴光文
姚永平 主审
等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

智能仪器是以微型计算机或者微处理器为核心的测量仪器,具有对数据存储、运算、逻辑判断及自动补偿、校正、自动化操作等功能。智能仪器凭借其体积小、功能强、功耗低等优势,在电子测量、科研单位和工业企业中得到了广泛的应用。智能仪器的出现,极大地扩充了仪器的应用范围。本书主要介绍“智能仪器”的基本原理、硬件结构与电路设计、软件规划和各功能模块设计方法,是作者编写的《单片机原理与应用》的升级版,是编著者总结多年教学经验,并参考国内同类书籍精心编写而成。

全书共 14 章,内容包括微处理器的选择,软件系统设计概述,数字信号输入/输出通道、模拟信号输入/输出通道,总线与通信系统,时钟系统,人机接口,常用数据处理功能,可靠性设计,基于电压测量、时间测量、波形测量的智能仪器和 C51 编程与实验指导等。为突出智能仪器的特点,本书加重了软件设计的份量,减少了与其他课程雷同的硬件设计内容。为配合教学,每章均附有一定数量的练习与思考题。

本书可作为高等院校工科电子类本科专业教材或培训教材,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。

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

智能仪器原理与设计:基于 STC15 系列可在线仿真 8051 单片机 / 朱兆优等编著.

— 北京:电子工业出版社,2016.7

ISBN 978-7-121-29047-3

I. ①智… II. ①朱… 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(2016)第 131800 号

责任编辑:竺南直 特约编辑:丁 波

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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:20 字数:538 千字

版 次:2016 年 7 月第 1 版

印 次:2016 年 7 月第 1 次印刷

定 价:45.00 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)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:davidzhu@phei.com.cn。

前 言

随着单片机、嵌入式系统的不断发展,传统仪器发生了深刻变化。我们已经身处计算机的海洋,它们本来可以安全地隐藏在军事研究中心或大学实验室,但现在已经随处可见。单片机与嵌入式系统是计算机的一个重要分支,是智能仪器的核心,已经成为各种仪器不可或缺的部件。正是由于嵌入了这样的单片型微处理器,使得仪器实现操作“傻瓜化”、检测校准自动化、数据处理程序化和人机对话人性化。加上人工智能在测试技术方面的广泛应用,使现代仪器具有视觉(图形及色彩辨读)、听觉(语音识别及语言领悟)、思维(推理、判断、学习与联想)等方面的能力,成为名副其实的智能仪器,有力地推动了仪器朝着微型化、多功能、人工智能化、网络化、虚拟仪器方向发展。各类仪器经过智能化后,在自动化技术、测控技术、通信技术、生物技术、航空航天、军事科学、医疗领域都能起到独特的作用,成为科研院所、工程科学技术人员不可缺少的智能仪器。

单片机与嵌入式系统种类很多,性能各异,从数据总线宽度来说,有8位、16位、32位和64位的处理器,从功能特性来讲,有单片机、ARM嵌入式系统、DSP数字信号处理器、FPGA可编程逻辑处理器等,而且各种类型的单片机与嵌入式系统又对应有很多厂家生产的很多不同系列的微处理器芯片。因此,单片机与嵌入式系统非常重要,在教学过程中,不可能面面俱到,只能挑选一款或两款经典的嵌入式处理器进行教学。大学生至少要掌握一款嵌入式微处理器的开发应用才能适应时代的要求。并以此为基础,根据生产实际需要,经过深入学习,触类旁通,举一反三,学会更多的单片机与嵌入式系统的使用方法,以便设计开发出适合某一方面应用的智能仪器,解决实际问题。

智能仪器是对单片机应用的深化,是综合性的电子系统设计,高等院校工科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“智能仪器”的课程显得非常必要。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以作为一般智能化电子产品的模型,故以“智能仪器”课程作为工科电子类专业学习“智能电子产品设计”是比较合适的,通过本课程的学习,能够使学生基本掌握电子产品的设计方法。

过去,人们称计算机专业是学“软件”的,电子专业是学“硬件”的。随着电子产品使用单片机与嵌入式系统为核心部件开发智能仪器,软件设计在智能电子产品开发中所占比重也越来越大,“电子专业是学硬件的”这种观点已经过时。如今智能仪器集微电子技术、信息技术、控制技术于一身,使仪器能够自动完成信号采集、处理、输出控制,实现人机交互、自动校正、与其他仪器的接口等功能和人工智能的能力。作为工科电子专业的学生,要树立新的观念,必须“软硬”兼施、“软硬”融合,既要掌握硬件电路设计知识、理论分析,更要具备软件规划、程序设计能力。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、有所创新。然而,大凡编程书,必定不好啃。而且智能仪器面对的是一个比较复杂系统的软硬件设计、编程规划,很容易让人摸不到“门”、找不到“北”。故在学习过程中,一定要循序渐进、精讲多练、理论联系实际,坚持在“学”中“做”,在“做”中“学”。只要能够使用单片机做出1个智能作品,将会极大地提升对单片机、智能仪器课程的兴趣,增强自己的成就感与自豪感,而且所有的困惑将烟消云散,很多问题将迎刃而解。要充分认识到理论与实践的辩证关系:如果在实践中出现障碍,解决不了问题、进行不下去,一定是缺乏理论的指导,对理论理解不深、造成瓶颈;如果在

理论上出现模糊不清,必定是缺乏在实践中检验,没有进行深入的实验研究,造成闭门造车、不知所以。单片机、智能仪器设计工程师就是在不断实践、不断研究,在实践中发现问题、在实践中解决问题里锻炼出来的。过去有勤能补拙的说法,毛主席还有实践出真知的理论,而在学习科学技术方面,唯有实践才是产品创新设计的必由之路,才是检验理论正确性的唯一途径。

为了适应智能仪器的新要求,软件设计能力的培养在本教材中得到了加强,与其他课程内容雷同的硬件设计篇幅作了相应压缩,这也是本教材的一大特色。另外,本教材与国内已经出版的同类书籍和教材相比,除了加重软件设计的份量外,硬件设计中大量采用串行器件也是一个特色。随着单片机与嵌入式系统的集成度的提高,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、嵌入式系统就可以满足要求,不需要再外接其他功能芯片;即使需要外接功能部件,也采用串行接口芯片,体现单芯片、少接口的设计风格,提高智能仪器的性价比。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接口。

全书共14章,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”,介绍几种当前流行的单片机与嵌入式系统的性能特点,使学生从单一的8051单片机中走出来,学会思考和选择,达到开阔视野的目的;第3章是“软件系统设计概述”,使学生了解一个完整的软件系统是如何进行功能设计、层次结构设计与规划的;第4章和第5章介绍了数字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”,介绍智能仪器运行的基础和设计方法;第8章是“人机接口”,介绍了显示、打印、键盘的接口设计;第9章是“常用数据处理功能”,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”,介绍抗干扰设计和容错设计的基本知识;第11章到第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智能电子产品设计实例;第14章是“C51编程与课程设计实验指导”,挑选了9个课程设计项目实验,使学生初步掌握智能仪器的设计方法。

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课时之间。

全书由朱兆优负责策划、内容安排、编写、修改整理和审定,周航慈、胡文龙、吴光文参与了第3章、第5章、第6章、第7章、第8章、第9章、第10章的资料整理和编写工作,朱日兴、刘琦参与了第4章、第9章、第10章、第14章的资料整理和编写工作。本书在编写过程中得到STC宏晶科技公司总裁姚永平先生的大力支持,得到东华理工大学有关部门的关心和资助,朱日兴、刘琦、胡文龙、涂晓红、王海涛、赵永科对书中部分的图件、程序进行了制作和验证,在此一并表示衷心感谢!

由于本书涉及知识领域广泛,而且变化日新月异,限于时间和水平的限制,难免有差错和不足之处,敬请读者指正!

编著者

2016年6月10日

目 录

第 1 章 绪论	1	3.4 软件系统的设计步骤	23
1.1 智能仪器的结构特点	1	3.4.1 设计和调试硬件接口模块	23
1.1.1 什么叫智能仪器	1	3.4.2 建立软件系统的框架	24
1.1.2 智能仪器的特点	1	3.4.3 设计和调试各个功能模块	25
1.1.3 智能仪器的硬件系统组成	2	3.4.4 整机测试	25
1.1.4 智能仪器的软件系统组成	2	3.5 实例分析	25
1.2 智能仪器的设计思路	3	3.5.1 系统功能概述	25
1.2.1 智能仪器的基本设计方法	3	3.5.2 硬件系统概述	26
1.2.2 智能仪器的设计过程	3	3.5.3 软件系统的规划	26
1.2.3 智能仪器的统调测试方法	5	3.5.4 软件系统的框架	27
1.3 智能仪器的发展	6	练习与思考题	29
1.4 虚拟仪器	7	第 4 章 开关量数字信号的输入/输出	30
练习与思考题	8	4.1 开关量数字信号的输入	30
第 2 章 微处理器的选择	9	4.1.1 开关量信号输入通道结构	30
2.1 基于 8051 内核的单片机	9	4.1.2 开关量输入接口	30
2.1.1 STC89 系列单片机	10	4.2 开关量数字信号的输出	36
2.1.2 STC15Fxx 系列单片机	11	4.2.1 输出驱动接口的隔离	36
2.1.3 STC15Wxx 系列单片机	12	4.2.2 小功率直流负载驱动接口电路	36
2.1.4 其他系列单片机	13	4.2.3 中功率直流负载驱动接口电路	37
2.2 基于 ARM 内核的单片机	14	4.2.4 固体继电器输出接口电路	38
2.2.1 ARM 概念及其发展	14	4.3 电动机驱动电路	40
2.2.2 ARM 选型与应用	15	4.3.1 直流电动机调速驱动原理	40
2.3 DSP 数字处理器	16	4.3.2 直流电动机调速驱动电路	41
2.3.1 DSP 技术概念及其发展	16	4.3.3 步进电动机驱动原理	41
2.3.2 DSP 处理器的主要结构特点	16	4.4 键盘与显示接口	46
2.3.3 DSP 的选择与应用	17	4.4.1 矩阵键盘	46
练习与思考题	18	4.4.2 ADC 采样键盘	48
第 3 章 软件系统设计概述	20	4.4.3 触摸键盘	49
3.1 软件开发环境与编程语言	20	4.4.4 数码静态显示接口	52
3.1.1 开发环境的选择	20	4.4.5 数码动态显示接口	55
3.1.2 编程语言的选择	20	4.4.6 液晶显示(字符式、点阵式)	59
3.2 软件系统的结构分析	21	练习与思考题	60
3.2.1 层次结构	21	第 5 章 模拟信号的输入/输出	62
3.2.2 功能结构	21	5.1 模拟信号的输入	62
3.3 软件系统的规划	22	5.1.1 A/D 转换器件的选择	62

5.1.2	模拟输入通道的设计	63	8.1.3	液晶显示屏	106
5.1.3	其他 A/D 转换模式介绍	68	8.2	微型打印机	114
5.2	模拟信号的输出	70	8.2.1	GP-16 微型打印机的接口 电路	114
5.2.1	D/A 转换器件的选择	70	8.2.2	GP-16 微型打印机的使用	115
5.2.2	模拟输出通道的设计	70	8.3	键盘	118
5.2.3	PWM 型 D/A 转换器	74	8.3.1	键盘的类型及接口电路	118
练习与思考题		76	8.3.2	键盘信号的可靠采集	120
第 6 章	总线与通信系统	77	8.4	监控程序设计	124
6.1	通用接口总线 GP-IB	77	8.4.1	监控程序的基本概念	124
6.1.1	GP-IB 标准接口概述	77	8.4.2	系统状态分析	126
6.1.2	GP-IB 接口芯片	80	8.4.3	基于顺序编码的监控程序 设计	130
6.2	串行通信标准 RS-232 与 RS-485	80	8.4.4	基于特征编码的监控程序 设计	132
6.2.1	RS-232 标准及接口芯片	80	8.4.5	基于菜单操作的监控程序 设计	137
6.2.2	RS-485 标准及接口芯片	81	练习与思考题		140
6.2.3	串行通信程序设计	82	第 9 章	常用数据处理功能	141
6.3	其他总线与通信技术简介	86	9.1	数据处理	141
6.3.1	通用串行总线 USB	86	9.1.1	数据类型的选择	141
6.3.2	现场总线 CAN	87	9.1.2	定点运算子程序库的使用	141
6.3.3	工业以太网	88	9.1.3	浮点运算子程序库的使用	142
6.3.4	蓝牙技术	89	9.2	误差处理	144
6.3.5	电力线载波通信	89	9.2.1	随机误差的处理	144
练习与思考题		91	9.2.2	系统误差的处理	145
第 7 章	时钟系统	92	9.2.3	粗大误差的处理	146
7.1	硬件时钟	92	9.3	标度变换	148
7.1.1	概述	92	9.3.1	线性标度变换	148
7.1.2	时钟数据的写入	94	9.3.2	非线性标度变换	149
7.1.3	时钟数据的读取	95	9.4	常用自动测量功能	152
7.2	软件时钟	96	9.4.1	自动量程转换	152
7.2.1	概述	96	9.4.2	自动校正	153
7.2.2	软件时钟的运行	97	9.4.3	自动补偿	156
7.3	时钟的使用	98	练习与思考题		158
7.3.1	定时任务的管理	98	第 10 章	可靠性设计	159
7.3.2	时间间隔的测量	100	10.1	抗干扰设计	159
7.3.3	时间长度的控制	100	10.1.1	硬件抗干扰设计	159
练习与思考题		101	10.1.2	软件抗干扰设计	160
第 8 章	人机接口	102	10.2	容错设计	167
8.1	显示部件	102			
8.1.1	发光二极管	102			
8.1.2	数码管	103			

10.2.1	硬件容错设计	167	第 13 章	基于波形测量的智能仪器	243
10.2.2	软件容错设计	171	13.1	示波器基本原理	243
练习与思考题		178	13.1.1	概述	243
第 11 章	基于电压测量的智能仪器	180	13.1.2	波形显示器	244
11.1	数字电压表	180	13.1.3	液晶显示原理	245
11.1.1	数字电压表的结构	180	13.2	通用示波器	247
11.1.2	数字电压表主要技术指标	181	13.2.1	示波器的垂直 (Y) 通道	247
11.1.3	数字电压表的功能特点	183	13.2.2	示波器的水平 (X) 通道	250
11.1.4	数字电压表的输入电路	184	13.2.3	示波器的主要技术指标	252
11.1.5	数字电压表设计	185	13.3	数字示波器	253
11.2	数字万用表	189	13.3.1	数字示波器组成原理	253
11.2.1	概述	189	13.3.2	信号采集处理技术	254
11.2.2	交直流信号变换器	190	13.3.3	波形显示技术	259
11.2.3	有效值转换模块应用	194	13.4	数字示波器的通信接口	261
11.2.4	电流测量方法	195	13.5	数字示波器的特点	261
11.2.5	电阻测量原理	197	13.6	数字示波器的使用	264
11.2.6	数字万用表的设计	198	13.7	简易数字存储示波器设计	266
11.3	智能 RLC 测量仪	203	13.7.1	主要性能分析设计	266
11.3.1	概述	203	13.7.2	设计方案与分析	267
11.3.2	电容/电感的数字化测量	211	13.7.3	系统电路设计	270
11.3.3	RLC 测量设计	212	13.7.4	系统软件设计	272
练习与思考题		217	练习与思考题		273
第 12 章	基于时间测量的智能仪器	219	第 14 章	C51 编程与实验指导	275
12.1	时频基本概念	219	14.1	C51 概述	275
12.1.1	时间与频率关系	219	14.2	C51 语法与数据结构	275
12.1.2	计时标准	219	14.2.1	常量与变量	275
12.1.3	频率测量方法	220	14.2.2	整型变量与字符型变量	276
12.2	电子计数器基本原理	220	14.2.3	关系表达式和逻辑表达式	277
12.2.1	概述	220	14.3	C51 流程控制语句	278
12.2.2	通用电子计数器	221	14.3.1	if 语句	278
12.2.3	测量误差分析计算	225	14.3.2	switch 语句	279
12.3	电子计数器设计	226	14.3.3	for 语句	279
12.3.1	数字频率计电路设计	226	14.3.4	while 和 do-while 语句	280
12.3.2	智能频率计电路设计	228	14.3.5	其他语句	280
12.4	智能相位测量仪	232	14.4	C51 构造数据类型	281
12.4.1	相位测量原理	232	14.4.1	结构体	281
12.4.2	简易相位测量电路设计	233	14.4.2	共用体	282
12.4.3	智能相位测量仪设计	235	14.4.3	指针	283
练习与思考题		241	14.4.4	typedef 类型定义	284
			14.5	C51 和标准 C 语言的异同	284

14.5.1	Keil C51 数据类型	284	14.6.3	流动 LED 灯控制器设计	297
14.5.2	8051 的特殊功能寄存器	284	14.6.4	简易频率计数器	298
14.5.3	8051 的存储类型	285	14.6.5	简易有害气体检测仪	302
14.5.4	Keil C51 的指针	287	14.6.6	简易数字万用表设计	303
14.5.5	“文件包含”处理	288	14.6.7	简易数字存储示波器	304
14.5.6	Keil C51 的使用	288	14.6.8	简易 γ 辐射仪	307
14.5.7	C51 关键字	289	14.6.9	汽车测速与倒车提示器	307
14.6	智能仪器实验指导	291	参考文献		310
14.6.1	低频信号发生器	291			
14.6.2	直流电动机 PWM 控制	295			

第1章 绪 论

1.1 智能仪器的结构特点

1.1.1 什么叫智能仪器

智能仪器是电子系统和微型计算机技术结合的产物。电子系统是指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，例如，电子测量系统、通信系统、自动控制系统等。这些应用系统在功能与结构上具有高度的综合性、层次性和复杂性。一个复杂的电子系统可以分成若干个子系统，其中每一个子系统又可分解为由若干部件组成的系统。而组成子系统的每个部件又可分解为由许多元件组成的电路。实际上智能仪器是一个由微处理器为核心构成的专用计算机系统，它包含硬件和软件两大部分。因此，通常只要是包含了程序并由软件负责控制操作的仪器都可以叫做智能仪器。

1.1.2 智能仪器的特点

与传统的电子仪器比较，智能仪器具有以下几个主要特点：

(1) 用键盘替代了旋转式或琴键式切换开关。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，在传统电子仪器中，与衰减器相连的旋转式开关要安装在正前方的面板上，使面板的布置受到限制，可能给用户的使用带来诸多不方便。而现在的智能仪器广泛使用键盘，使面板的布置可以完全独立于仪器的功能部件，极大地改善了仪器前面板及有关功能部件结构的设计，提高了仪器技术指标，也方便了仪器的操作。

(2) 用微处理器极大地提高了仪器的性能。例如，由于智能仪器加入了单片微处理器，利用微处理器强大的运算处理和逻辑判断能力，通过算法编程可以消除由于漂移、增益的变化和干扰等因素所引起的误差，提高仪器的测量精度。同时，智能仪器具有很强的数据处理能力，使传统的数字多用表(DMM)只能测量电阻、交直流电压、电流等，变成为智能型的数字多用表，不仅能进行电阻、电压、电流的测量，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功能，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，解决专家才能解决的问题。

(3) 用微处理器实现了仪器的自动控制功能。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、自诊断等功能，有力地改善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设置键(Autoset)，测量时只要按这个键，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。此外，有的智能仪器还具有自诊断功能，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用件进行自维修功能，极大地方便了仪器的维护。

(4) 具有友好的人机对话能力。使用智能仪器时,只需通过键盘打入命令,仪器就能实现指定的某一种测量和处理功能。同时,还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操作者,使人机之间的联系密切且友好。

(5) 具备数据通信功能。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或与其他仪器一起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。

1.1.3 智能仪器的硬件系统组成

智能仪器通常包括硬件和软件两大部分,其硬件系统主要包括微机系统、输入/输出电路、人机接口和通信接口电路四部分,如图 1-1 所示。

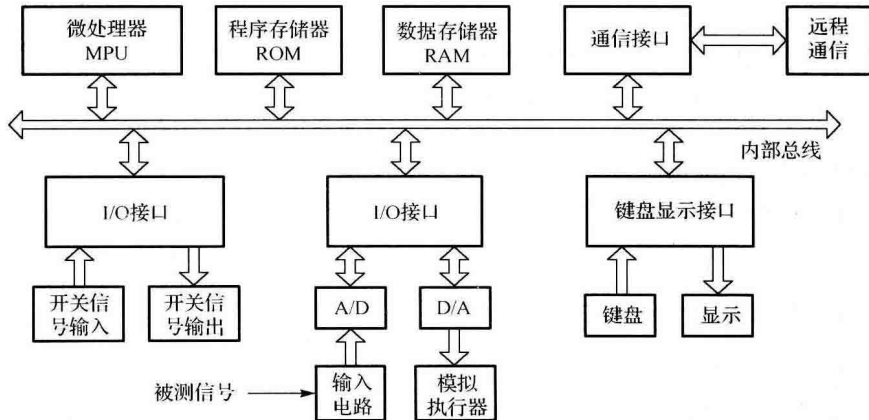


图 1-1 智能仪器通用硬件结构框图

(1) 微机系统:主要应完成信号的数字化处理和显示、打印、通信等智能化处理的功能,功能简单可以选单片机系统,如果比较复杂可选多个单片机或计算机系统构成。

(2) 输入/输出电路:主要完成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,也包括开关量的输入输出等功能。主要包含输入电路、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,它通过 I/O 接口电路与微机系统通过总线方式连接。

(3) 人机接口电路:主要完成操作者和仪器之间的信息交流,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。在单片机应用系统中,键盘以独立式按键和矩阵式键盘为主;显示器一般采用 LED 数码管,若显示信息复杂多样要采用 LCD 液晶显示,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智能化仪器,这部分都包括在计算机系统中,由主机连接显示器、键盘和打印机组成。

(4) 通信接口电路:将仪器仪表测量的数据上传到计算机,以便进行数据分析、处理和决策控制。目前,常用的仪器通信接口有 GP-IB 通信接口、RS-232C 接口、应用于集散控制系统中的现场总线 CAN 接口和以太网接口。

1.1.4 智能仪器的软件系统组成

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。功能执行程序是完成各种实质性功能任务的模块程序,如数据采集测量、计算处理、显示、打印、输出控制、数据通信等;监控程序是专门用来协调各个执行模块和操作者关系的程序,在系统程序中充当组织调度的角色。

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，通常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三种结构，具体分析将在第8章中介绍。

1.2 智能仪器的设计思路

智能仪器是以微处理器为核心的电子仪器设备，设计智能仪器要求掌握电子仪器的工作原理，熟悉单片微机系统的硬件设计方法和软件编程语言及程序设计思想。

1.2.1 智能仪器的基本设计方法

智能仪器是一种比较复杂的智能电子系统，需要经历很多个设计、生产环节和工艺流程，通常可以采取下面三种方法来进行设计。

1. 自顶向下的设计方法

所谓自顶向下的设计方法，就是设计者根据原始设计指标或用户需求，从整体上规划整个系统的功能和性能，然后对系统进行划分，将系统分解为规模较小、功能较简单且相对独立的子系统，并确立它们之间的相互关系。这种划分过程可以不断进行下去，直到划分得到的单元可以映射到物理实现。这种物理实现可以是具体的部件、电路和元件，也可以是 VLSI 的芯片版图。

2. 自底向上的设计方法

所谓自底向上的设计方法，就是设计者根据要实现的系统各个功能的要求，首先从现有的可用元件中选出最适合的，设计成一个个的部件，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，提高设计生产率。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，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。

3. 以自顶向下方法为主导，并结合自底向上的方法

随着 SOC (System On Chip, 单芯片系统) 的出现，为了实现设计重用以及对系统进行模块化测试，通常采用自顶向下方法为主导，并结合自底向上的方法。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，又能充分利用 IP 核，减少设计的重复劳动，提高设计生产率，因而普遍被采用。

1.2.2 智能仪器的设计过程

不管采用哪一种方法进行智能仪器电子系统设计，都需要认真分析好以下各个设计环节，把握仪器设计的要求性能和指标参数。智能仪器的一般研制开发过程如图 1-2 所示，下面简要介绍各个阶段的设计原则和工作内容。

(1) 系统描述和分析：首先研究仪器项目给出的是系统功能要求和重要技术指标要求，这些是电子系统设计的基本出发点。但仅凭课题项目所给出的要求还不能进行设计，设计人员必须对题目的各项要求进行分析，整理出系统和具体电路设计所需的更具体、更详细的功能要求和技术性能指标数据，这些数据才是进行电子系统设计的原始依据。同时，通过对设计题目的分析，设计人员还可以更深入地了解所要设计的系统的基本特性，确定仪器是否需要具备通信功能，采用什么通信方式和网络协议等。

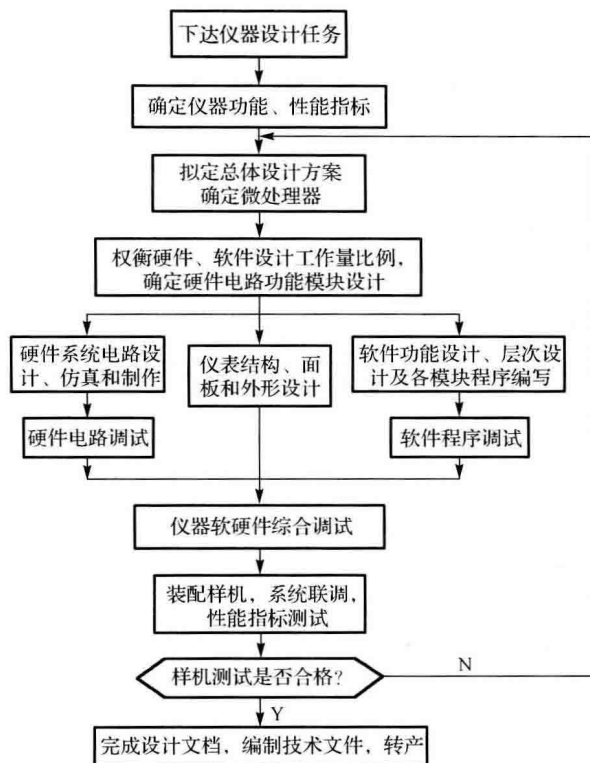


图 1-2 智能仪器研制的一般过程

(2) 拟定总体方案：主要针对设计的任务、要求和条件，根据所掌握的知识 and 资料，从全局出发，明确总体功能和各部分功能，并画出各单元功能和总体工作原理框图。通常符合要求的总体方案不止一个，设计者要认真分析每个方案的可行性和优缺点，并从设计的合理性、技术的先进性、系统的可靠性和经济性等方面反复比较，选出最佳方案。

(3) 系统模块设计划分：当总体方案明确后，应根据总体方案将系统划分为若干个部分，并确定各部分的接口参数。如果某一部分的规模仍较大，则可以进一步划分。划分后的各个部分的规模大小应合适，便于进行电路级的设计。

(4) 单元电路设计：先要明确对各单元电路的要求，详细制定单元电路的性能指标，包括电源电压、工作频率、灵敏度、输入/输出阻抗、输出功率、失真度、波形显示方式等。根据功能和性能指标，查找相关资料看是否有现成的或相近电路。不论是采用现成的单元电路，还是采用自行设计的单元电路，都应注意各单元电路之间的配合问题，注意局部电路对系统的影响，要考虑是否易于实现、检测以及性能价格比等问题。

(5) 计算和调整参数：在电路设计过程中，必须对某些参数进行计算后再挑选元器件。在深刻地理解电路工作原理，正确地运用计算公式和计算图表基础上，才能获得满意的计算结果。在设计计算时，常会出现理论上满足要求的参数值不惟一的问题，设计者应根据价格、体积和货源等具体情况进行选择。计算电路参数时应注意下列问题：

- ① 元器件的工作电流、电压和功耗等应符合要求，并留有适当裕量；
- ② 元器件的极限参数必须留有足够裕量，一般应大于额定值的 1.5 倍；
- ③ 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；
- ④ 电阻、电容的参数应选计算值附近的标称值；

⑤在电路满足功能指标的前提下,尽量减少元器件的品种、价格、体积、数量等。

(6) 元器件选择:根据所设计电路的要求,选择电阻、电位器、电容、电感等元器件以及集成电路。所选集成电路不仅应在功能、特性和工作条件等方面满足设计方案的要求,而且应考虑到封装形式。

(7) 单元电路调试:在调试单元电路时,应明确本部分的调试要求,按调试要求测试性能指标和波形观察。调试顺序按信号的流向进行:可以把前面调试过的输出信号作为后一级的输入信号,为最后的系统总体调试创造条件。通过单元电路的静态和动态调试,掌握必要的数据、波形、现象,然后对电路进行分析、判断,排除故障,最终完成调试要求。对于比较复杂的电路,可先制定“实验设计”调试的内容、方法和步骤。有条件的话,最好先进行电路的计算机仿真调试。

(8) 软件设计:软件功能模块的划分和功能设计与硬件电路有关,从提高仪器的性能和成本来考虑,尽量以软件设计代替硬件设计,比如一些软件滤波算法设计可以代替成本较高的硬件滤波器的设计。权衡硬件和软件设计的工作量的比例,考虑软件开发的周期能否与硬件电路的制作保持一致,来权衡硬件和软件设计工作量的比例关系。

(9) 仪器结构设计:结构设计是智能仪器研制的一个重要工作内容,它包括仪器仪表的造型、壳体结构、外形尺寸、面板布置、模板固定和连接方式等。仪器结构设计尽可能做到标准化、规范化、模块化。既要考虑仪器外表的美观,又要考虑制造、使用和维护的方便性,可选用 AutoCAD 方法完成仪器结构设计。

(10) 系统总体调试:先调基本指标,后调影响质量的指标;先调独立环节,后调有影响的环节,直到各项技术指标满足系统要求为止。应观察各单元电路连接后各级之间的信号关系,主要观察动态效果,检查电路性能和参数,分析测量的数据和波形是否符合设计要求,并对发现的故障和问题及时采取处理措施。

(11) 编写设计文档:从设计的第一步开始就要习惯编写设计文档。设计文档应当符合系统化、层次化和结构化的要求;文档中的文句应当条理分明、简洁、明白;文档的具体内容与设计步骤是相对应的,即:

- ①系统设计任务和分析;
- ②方案选择与可行性论证;
- ③单元电路的设计、参数计算和元器件选择;
- ④整体电路图、实物布置图、实用程序清单等;
- ⑤系统功能与指标测试结果(含使用的测试仪器型号与规格);
- ⑥系统的操作使用说明;
- ⑦存在问题及改进意见等;
- ⑧参考资料目录。

综上所述,智能仪器设计过程可以分为三个阶段:①确定任务、拟定设计方案阶段;②硬件、软件研制及其仪器仪表结构设计阶段;③仪器样机联调、性能指标测试阶段。

1.2.3 智能仪器的统调测试方法

智能仪器的研制阶段对各个硬件模块电路和软件模块进行了初步调试和模拟实验,也对各个硬、软件模块之间连接后进行了初步调试和模拟实验。样机装配完整后,必须进行联机试验,来发现样机中硬件和软件两方面还存在的问题,通过在实验室和现场的交替联机调试和试验,解决存在的问题,使系统在实际应用环境中运行稳定,测量数据可靠。

在统调中,不断地测试仪器所实现的功能和各项性能指标,如果有些功能或性能达不到预期目标,通过修改硬、软件,重新调试,直至达到或超过所有的设计任务书中的仪器功能和性能指标。

经验表明,研制一台智能仪器的周期同总体设计是否合理,硬件芯片选择是否得当,程序结构设计是否合理以及开发工具是否完善等因素密切相关。在仪器开发的整个过程中,软件的编写及调试往往占系统开发时间的 60%以上,因此,必须对程序的设计足够重视,重视程序设计能力的培养和严密逻辑思维习惯的养成。设计程序应该采用结构化和模块化方法编程,这对查错与调试极为有利。

在完成样机研制之后,还必须完成设计文档的编写。这项工作不仅是对整个仪器研制工作的总结,也是该仪器日后使用、维修以及再设计开发不可缺少的资料。设计文档一般包括:设计任务和仪器功能描述;设计方案的论证;性能测定和现场使用报告;使用操作说明;硬件资料(包括硬件框图、电路原理图、元件布置和接线图、接插件引脚图和印刷板线路图);软件资料(包括程序框图和说明、标号和子程序名称清单、参量定义清单、存储单元和输入/输出接口地址分配表以及程序清单)。

1.3 智能仪器的发展

20 世纪 70 年代开始的二十多年间,电子测量领域发生的最重大的事情就是先后研制开发出了五种不同类型层次智能仪器:独立式智能仪器、GP-IB 自动测试系统、插卡式智能仪器(个人仪器),1987 年又发展出 VXI 总线仪器系统和虚拟仪器。这些仪器技术的兴起,得益于电子工业、新技术革命的推动,特别是微电子技术、微型计算机技术的飞速发展,使得电子测量和仪器系统改变了发生了质的飞跃,彻底改变了电子测量领域的发展进程。

1. 独立式智能仪器

独立式智能仪器简称智能仪器,其内部自带微处理器和 GP-IB 接口,可独立进行测试工作。仪器在结构上自成一体,技术上比较成熟,使用灵活方便。同时,借助新技术、新工艺、新器件的不断进步,仪器不断推陈出新。此类智能仪器已经成为当前电子实验室的主流仪器,因此,研究学习智能仪器的原理、开发技术具有很好的现实意义。

2. GP-IB 自动测试系统

GP-IB 是国际电工协会(IEC)1978 年正式推荐的一种标准仪器接口总线,已经被世界各国普遍接受。只要配置了 GP-IB 接口的智能仪器和计算机,不分生产国家、厂家,都可以采用一根无源电缆总线按积木方式互连,能够灵活地组成各种不同用途的测试系统,方便完成复杂的测试任务。通过 GP-IB 接口总线可以构建成一套自动测试系统,形成分布式多机联合测试系统。典型的自动测试系统包括计算机、多台智能仪器和 GP-IB 组成,如图 1-3 所示。其中计算机是系统的控制者,实现对测量全过程的控制与处理。智能仪器是系统测量功能执行单元,完成信号采集、测量、处理等任务。GP-IB 是一个多功能神经网络,包含标准接口和标准总线两部分,完成系统内的各种信息的变换和传输任务。

3. 插卡式智能仪器(个人仪器)

个人仪器是在智能仪器的基础上,伴随 PC 的发展开发出的一种新型仪器。它是把具有信号测量部分设计成相应的接口卡,能够插到计算机主板的总线插槽上,再借助专业软件构成了个人仪器或 PC 仪器。由于个人仪器利用了 PC 内部的总线,共享了 PC 的软件、硬件和外设资源,性价比很高,使个人仪器得以快速发展。

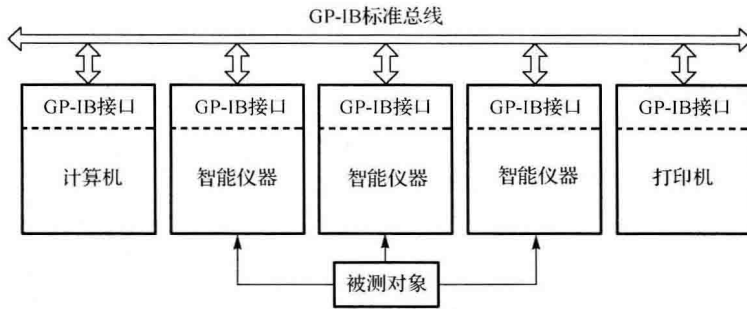


图 1-3 典型自动测试系统

4. VXI 总线仪器系统

由于个人仪器设计时无统一标准，系统总线由各个厂家自行决定，在组建个人仪器系统时难以在不同厂家之间实现兼容互换，阻碍了个人仪器的推广和发展。因此，1987 年以 HP、泰克为首的五家仪器公司经过研究，联合提出了适合于个人仪器系统的标准化接口总线 VXI 规范，并为世界各仪器厂家接受推广。

VXI 总线是一个开放式、面向仪器模块式结构的仪器总线，对所有仪器厂家和用户都是公开的，使 VXI 总线很快成为测试系统的主流结构。VXI 是一种插卡式的仪器，每一种仪器是一个插卡，VXI 采用 32 位地址总线、32 位数据总线，数据传输速率可达 40MHz，还定义了多种控制线、中断线、时钟线、触发线、识别线和模拟信号线，比 GP-IB 总线具有更好的性能。VXI 总线集成了智能仪器、GP-IB 和个人仪器的很多特长，具有灵活方便、标准化程度高、可扩展性好，能充分发挥计算机的效能，便于构成虚拟仪器等诸多优点，被称为未来仪器或未来系统。但 VXI 仪器价格昂贵，目前又推出了一种较为便宜的 PXI 标准仪器。

1.4 虚拟仪器

20 世纪 80 年代末，美国成功研制了虚拟仪器（Virtual Instrument, VI）。虚拟仪器的出现，标志着电子测量仪器与自动测试领域发展了一个新方向，使测量仪器与个人计算机结合得更紧密了。虚拟仪器就是在以通用计算机为核心的硬件平台上，通过用户设计定义的、具有虚拟操作面板和测试界面功能选择的、完全由测试软件实现的一种计算机仪器系统，即在硬件平台确定后，“软件就是仪器”。用户只要使用鼠标在计算机屏幕上点击虚拟操作面板，就可完成对仪器硬件平台的操控，就象使用一台专用电子测量仪器一样。

虚拟仪器的特点如下：

- ①在通用硬件平台上，由软件取代传统仪器中实体来完成仪器的功能；
- ②仪器功能可以按照用户需要用软件来定义和组合，而不需要由厂家定义好；
- ③仪器的改进和功能扩展只需进行相关软件的设计更新升级；
- ④仪器研制周期比传统仪器大为缩短；
- ⑤仪器开放性、灵活性好，可与计算机同步发展，可与网络及其他周边设备互联。

决定虚拟仪器的具有这些特点的关键是软件。目前，常用的虚拟仪器软件是 NI 公司开发的 LabVIEW，其最新版本是 LabVIEW 8.0，软件可以通过购买光盘、网络下载等方式获得。

LabVIEW 软件采用图形化设计接口，提供包括 FFT 分析、数字滤波、回归分析、统计分析

等上百种数学运算、数字信号处理功能，使用户可以根据自己的不同要求和测试方案开发出各种仪器，彻底突破了过去仪器功能只能由厂家定义的模式，形成区别于传统意义的、更具特色的虚拟仪器。LabVIEW 软件包主要有七个项目的对话框，其中信号分析模块的功能能够完成信号的时域波形分析和参数计算、信号的相关分析、信号的概率密度分析、信号的频谱分析、传递函数分析、信号滤波分析、三维谱阵分析等工程测试中常用的各种数学运算。

LabVIEW 软件为虚拟仪器设计者提供了一个便捷、轻松的仪器开发设计环境，设计者可以象搭积木一样组建一个测量系统和构造一个仪器面板，而不需要进行繁琐地编写仪器的程序代码。虚拟仪器技术利用高性能的模块化硬件，结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。自 1986 年问世以来，世界各国的工程师和科学家已将 NI LabVIEW 图形化开发工具用于产品设计的各个环节，改善了产品质量、缩短了产品投放市场的时间，提高了产品开发生产效率。使用集成化的虚拟仪器环境与现实世界的信号相连，分析数据以获取实用信息，共享信息成果，有助于在较大范围内提高生产效率。因此，现在只要使用一块 A/D 卡与 PC 结合，在 LabVIEW 软件的管理下，就能实现数字多用表、数字存储示波器、数字频谱分析仪、数据采集系统、数字频率计和数字信号发生器。

今后，智能仪器将朝着智能化、自动化、小型化、模块化和开放式智能系统方向发展。美国 NI 公司提出的虚拟测量仪器概念，更是引发了对传统仪器领域的一场重大变革，使得计算机和网络技术得以长驱直入进入仪器领域，和仪器技术结合起来，将开创“软件即是仪器”的先河。

练习与思考题

1. 什么是智能仪器？简述智能仪器的结构组成。
2. 智能仪器的主要特点是什么？智能仪器的设计思想是什么？
3. 简述设计一个智能仪器的基本过程。
4. 什么是单片机？什么是嵌入式系统？它们有什么区别和联系？
5. 智能仪器的电子系统可以采取哪几种方法进行设计？
6. 单元电路设计要注意设计哪些性能参数？
7. 计算电路参数时应注意哪些问题？
8. 电路设计时先进行仿真有什么好处？说说你熟悉哪些仿真软件？
9. 研制一台智能仪器大致需经过几个阶段？
10. 在智能仪器的发展中，出现了哪五种不同类型层次智能仪器？
11. 智能仪器的发展方向是什么？
12. 什么是虚拟仪器？为什么说“软件即是仪器”？
13. 独立式智能仪器、GP-IB 自动测试系统、个人仪器，VXI 总线仪器系统各自有什么特点？它们有什么区别？
14. LabVIEW 软件采用什么设计接口？提供了哪些信号分析与处理功能？
15. 虚拟仪器的特点是什么？设计一个虚拟仪器需要使用哪种编程语言吗？
16. 如果现在需要设计一台数字多用表或数字信号发生器，应该如何做？