



普通高等教育“十二五”规划教材

◎ 测控技术与仪器专业 规划教材

智能仪器设计基础

(第2版)

◎ 史健芳 等编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

测控技术与仪器专业规划教材

智能仪器设计基础

(第2版)

史健芳 廖述剑 杨 静 等编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”，具有创新精神和实践能力的人才为目的，以提高学生分析、解决实际问题的能力为出发点，较全面、系统地介绍以单片微机为核心的智能仪器的基本组成、结构和设计方法；注重理论联系实际，反映智能仪器的发展方向，引入智能仪器设计的新技术。

全书共 11 章，包括智能仪器的分类、组成、特点，智能仪器的输入/输出通道及接口技术，人机对话接口技术，典型数据处理功能，自动测量、自动校准和自诊断技术，抗干扰与可靠性技术，系统总线和数据通信接口，智能仪器的设计开发步骤、设计实例，智能仪器的发展及新技术。

本书可作为高等学校测控技术及仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化等专业高年级本科生及低年级研究生的教材，也可供有关专业工程技术人员参考。

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

智能仪器设计基础/史健芳等编著. —2 版. —北京:电子工业出版社,2012.9

测控技术与仪器专业规划教材

ISBN 978-7-121-17948-8

I. ①智… II. ①史… III. ①智能仪器—设计—高等学校—教材 IV. ①TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 194270 号

责任编辑: 凌 毅

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订:

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: 18.5 字数: 498 千字 插页: 1

印 次: 2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 3000 册 定价: 36.00 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,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。

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

服务热线:(010)88258888。

前 言

本书以培养“厚基础、宽口径、会设计、可操作、能发展”，具有创新精神和实践能力的人才为目的，以提高学生分析、解决实际问题的能力为出发点，较全面、系统地介绍以单片微机为核心的智能仪器的基本组成、结构和设计方法。

本书在内容编排上注重智能仪器基本原理和基本设计方法，同时注意理论联系实际，引入设计实例，提高学生分析、解决问题的能力，为以后的学习、工作和科学研究打下扎实的理论和实践基础；注重反映智能仪器的发展方向，引入新器件、新技术，便于学生了解智能仪器的发展趋势，拓宽知识面；为便于学生参阅同类国外原版教材及相关资料，了解国内外智能仪器设计新技术，增强学习的主动性与求知欲望，书中对第一次出现的术语都标有英文。同时，本书在叙述中力求文字简洁，通俗易懂。

本书共 11 章。第 1 章介绍了智能仪器的基本组成、功能特点、发展及微处理器的选型；第 2 章和第 3 章分别介绍了模拟量和开关量输入及输出通道组成、结构、常用器件及接口技术；第 4 章介绍了键盘、显示器、触摸屏、打印记录等人机交互接口技术；第 5 章介绍了数字滤波、系统误差、粗大误差、传感器的非线性校正、测量数据的标度变换等智能仪器的典型数据处理技术；第 6 章介绍了智能仪器的自动校准、触发电平自动调节、量程自动转换和硬件故障自检等技术；第 7 章介绍了智能仪器中干扰的来源以及为提高智能仪器的可靠性采取的软件、硬件措施；第 8 章介绍了智能仪器较常用的标准总线和数据通信技术，主要有总线、GPIB 通用接口总线、RS-232C、RS-422/485 串行总线、USB 通用串行总线、CAN 总线、ZigBee 总线等；第 9 章介绍了智能仪器设计原则，并以两个实例加以说明；第 10 章介绍了智能仪器设计的工程实例；第 11 章介绍了智能仪器的发展及新技术，主要包括个人仪器、VXI 总线仪器、虚拟仪器、网络化仪器、智能仪器中的数据融合技术、物联网技术等内容。为配合教学，每章都有适量的习题。

本书可作为高等学校测控技术及仪器、自动化、电子信息工程、机电一体化等专业高年级本科生及低年级研究生的教材，也可供有关专业工程技术人员参考。

本书由史健芳进行策划、内容安排和最终统稿。本书的编写分工如下：第 1 章由韩应征编写；第 2、3 章和 8.1~8.4 节由史健芳编写；第 4、5、6 章由史健芳、钟秉翔编写；第 9 章由史健芳、廖述剑、钟秉翔编写；第 7 章、8.5~8.9 节由廖述剑编写；第 10 章由王亚姣编写；第 11 章由杨静编写。在此谨向电子工业出版社编辑凌毅、书后所列参考文献的各位作者以及给予我们支持和帮助的领导和同事表示诚挚的谢意。

本书提供配套的电子课件及相关配套资源，读者可登录华信教育资源网：www.hxedu.com.cn，注册后免费下载。

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，书中缺陷和疏漏之处，恳请读者批评指正！

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测量仪器的发展概况	1
1.2 智能仪器的发展趋势	3
1.3 智能仪器的分类、组成和特点	3
1.3.1 智能仪器的分类	3
1.3.2 智能仪器的组成	4
1.3.3 智能仪器的特点	4
1.4 智能仪器中微处理器的选择	5
1.4.1 单片机概述	5
1.4.2 基于 8051 内核的单片机	6
1.4.3 MSP430 系列单片机	7
1.4.4 PIC 系列单片机	7
1.4.5 基于 ARM 内核的单片机	8
1.4.6 基于 AVR 系列的单片机	8
1.4.7 数字信号处理器 DSP	9
习题 1	9
第 2 章 智能仪器输入通道及接口技术	10
2.1 模拟量输入通道概述	10
2.2 传感器	11
2.2.1 传感器的分类	11
2.2.2 传感器的选用原则	11
2.3 放大器	12
2.3.1 程控放大器	13
2.3.2 仪用放大器	16
2.3.3 隔离放大器	18
2.4 模拟多路开关	22
2.4.1 模拟多路开关的性能指标	23
2.4.2 集成模拟多路开关	23
2.4.3 模拟开关的通道扩展	25
2.5 采样/保持器	26
2.5.1 采样/保持器的原理	26
2.5.2 集成采样/保持器	27
2.5.3 采样/保持器的主要性能指标	28
2.6 A/D 转换器	28
2.6.1 并联比较型 A/D 转换器	29
2.6.2 逐次逼近型 A/D 转换器	30
2.6.3 双积分型 A/D 转换器	30
2.6.4 Σ - Δ 调制型 A/D 转换器	32
2.6.5 A/D 转换器的主要技术指标	34

2.7	A/D转换器与微处理器的接口	36
2.7.1	并行输出ADC与微处理器的接口	36
2.7.2	串行输出ADC与微处理器的接口	41
2.8	开关量输入通道	47
	习题2	48
第3章	智能仪器输出通道及接口技术	49
3.1	模拟量输出通道	49
3.1.1	D/A转换原理	49
3.1.2	D/A转换器的主要技术指标	51
3.2	D/A转换器与微处理器的接口	52
3.3	DAC的应用	58
3.4	开关量输出通道	62
3.4.1	小功率驱动接口电路	62
3.4.2	中功率驱动接口电路	63
3.4.3	固态继电器输出接口电路	63
	习题3	65
第4章	智能仪器人机交互接口	66
4.1	键盘与接口	66
4.1.1	键盘概述	66
4.1.2	键盘工作原理与接口电路	67
4.1.3	键值分析程序	72
4.2	LED显示与接口	76
4.2.1	段码式LED显示原理与接口	76
4.2.2	点阵式LED显示原理与接口	79
4.3	键盘/显示器接口设计	81
4.3.1	ZLG7290芯片介绍	81
4.3.2	ZLG7290接口芯片的连接方法和程序设计	84
4.4	LCD显示及接口	87
4.4.1	LCD显示器的结构和工作原理	87
4.4.2	笔段式LCD显示器	88
4.4.3	点阵式LCD显示器的接口	91
4.5	触摸屏	97
4.5.1	触摸屏简介	97
4.5.2	触摸屏的分类	98
4.5.3	触摸屏的控制	101
4.6	打印记录技术	105
4.6.1	RD系列热敏微型打印机的接口信号	106
4.6.2	RD系列热敏微型打印机的打印命令	107
4.6.3	汉字打印技术	108
4.6.4	RD系列打印机与单片机接口及编程	110
	习题4	111
第5章	智能仪器的典型数据处理功能	112
5.1	概述	112
5.2	测量结果的非数值处理	113
5.2.1	查表	113

5.2.2	排序	113
5.3	随机误差处理与数字滤波	114
5.3.1	数字滤波的特点	114
5.3.2	数字滤波算法	115
5.4	系统误差的处理	119
5.4.1	利用误差模型校正系统误差	119
5.4.2	利用离散数据建立模型校正系统误差	120
5.4.3	利用标准数据校正系统误差	124
5.4.4	传感器的非线性校正	125
5.5	粗大误差的处理算法	128
5.5.1	判断粗大误差的准则	128
5.5.2	测量数据的处理步骤	129
5.6	温度误差的校正方法	130
5.7	测量数据的标度变换	130
5.7.1	线性标度变换	130
5.7.2	非线性参数的标度变换	131
	习题 5	132
第 6 章	智能仪器自动测量和自检技术	133
6.1	概述	133
6.2	仪器的自动校准	133
6.2.1	内部自动校准	134
6.2.2	外部自动校准	135
6.3	仪器的自动测量	136
6.3.1	量程自动转换	136
6.3.2	触发电平自动调节	138
6.4	硬件故障自检	139
6.4.1	RAM 的自检	139
6.4.2	ROM 的自检	140
6.4.3	键盘与显示器的自检	141
6.4.4	输入通道的自检	142
6.4.5	输出通道的自检	143
6.4.6	总线的自检	144
	习题 6	144
第 7 章	智能仪器抗干扰技术与可靠性设计	146
7.1	智能仪器的干扰问题	146
7.1.1	干扰的定义与来源	146
7.1.2	干扰的分类	147
7.1.3	干扰的耦合通道	149
7.2	从耦合通道抑制干扰的主要技术	150
7.2.1	隔离技术	151
7.2.2	滤波技术	153
7.2.3	屏蔽技术与双绞线传输	153
7.2.4	接地技术	157
7.3	抗干扰的其他技术与措施	160
7.3.1	电源系统的抗干扰措施	160

7.3.2	静电放电干扰和漏电干扰的抑制	162
7.3.3	线间窜扰的抑制	163
7.4	智能仪器可靠性概述	164
7.4.1	可靠性的基本概念	164
7.4.2	影响可靠性的主要因素	165
7.5	可靠性设计	165
7.5.1	硬件可靠性设计	165
7.5.2	软件可靠性设计及软件抗干扰措施	167
	习题7	174
第8章	总线和数据通信技术	175
8.1	概述	175
8.2	内总线	175
8.2.1	I ² C总线概述	176
8.2.2	I ² C总线的术语	177
8.2.3	器件与I ² C总线的连接	177
8.2.4	I ² C总线数据的传送	177
8.2.5	I ² C总线器件与CPU的连接	180
8.2.6	I ² C总线应用实例	181
8.3	通用接口总线	182
8.3.1	协议中用到的术语	182
8.3.2	仪器功能与接口功能	183
8.3.3	GPIB接口系统结构	184
8.3.4	GPIB接口工作过程	185
8.3.5	GPIB接口芯片	186
8.4	串行通信接口	186
8.4.1	RS-232C串行总线标准	188
8.4.2	RS-422标准	192
8.4.3	RS-485通信接口标准	193
8.4.4	通用串行总线(USB)	194
8.5	现场总线	199
8.5.1	现场总线概述	200
8.5.2	CAN总线的发展与特点	201
8.5.3	CAN的分层结构	201
8.6	蓝牙技术	205
8.6.1	蓝牙技术概述	205
8.6.2	蓝牙技术原理	205
8.7	ZigBee技术	208
8.7.1	ZigBee技术概述	208
8.7.2	ZigBee技术原理	209
8.8	工业以太网	211
8.9	电力线载波通信	214
	习题8	215
第9章	智能仪器设计	216
9.1	智能仪器的设计要求、原则及步骤	216
9.1.1	智能仪器的设计要求	216

9.1.2	智能仪器的设计原则	216
9.1.3	智能仪器的设计步骤	217
9.2	数据采集系统设计	219
9.2.1	数据采集系统的组成与结构	220
9.2.2	数据采集系统设计考虑的因素	220
9.2.3	心电数据采集系统设计	221
9.3	简单回路温度控制器	226
9.3.1	功能需求和总体思路	227
9.3.2	温度测控电路设计	228
9.3.3	PID 控制算法的实现	229
9.3.4	控制器和 PC 之间的数据通信	230
9.3.5	温度控制器软件流程	230
习题 9		233
第 10 章	智能仪器设计工程实例	234
10.1	需求分析	234
10.2	双通道电子皮带秤的功能说明	234
10.3	双通道电子皮带秤的原理	235
10.3.1	双通道电子皮带秤的组成	235
10.3.2	双通道电子皮带秤的原理	235
10.4	系统硬件设计	236
10.4.1	硬件体系结构设计	236
10.4.2	硬件电路设计	238
10.5	软件系统设计	244
10.5.1	软件设计分析	245
10.5.2	软件模块设计	246
10.6	系统调试	252
第 11 章	智能仪器新发展	254
11.1	个人仪器及系统	254
11.1.1	个人仪器概述	254
11.1.2	个人仪器的结构和特点	254
11.2	VXI 总线仪器	256
11.2.1	VXI 总线仪器系统概述	257
11.2.2	VXI 总线仪器系统的组建	262
11.3	虚拟仪器	263
11.3.1	虚拟仪器的特点与构成	264
11.3.2	虚拟仪器的硬件结构	265
11.3.3	虚拟仪器的软件结构	267
11.3.4	虚拟仪器的软件开发平台	268
11.3.5	虚拟仪器的发展与应用	270
11.4	网络化仪器	272
11.4.1	网络化仪器概述	272
11.4.2	基于 Web 的虚拟仪器	274
11.4.3	嵌入式 Internet 的网络化智能传感器	275
11.4.4	IEEE 1451 网络化智能传感器标准	277
11.4.5	物联网概述	278

11.5 多传感器数据融合技术	280
11.5.1 概述	280
11.5.2 数据融合的原理和结构	281
11.5.3 数据融合的基本方法	283
11.5.4 数据融合技术在智能仪器中的应用	283
习题 11	284
参考文献	285

第 1 章 绪 论

随着仪器仪表和信息管理的高度自动化,以计算机为核心的信息处理与过程控制相结合的智能仪器系统应运而生。智能仪器是计算机技术与测试技术相结合的产物,是含有微型计算机或微处理器的测量仪器。由于它拥有对数据的存储、运算、逻辑判断和自动化操作等功能,具有一定的智能作用,因而被称为智能仪器。

近年来,智能仪器已开始从数据处理向知识处理发展,并具有模糊判断、故障判断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等功能,使智能仪器向更高的层次发展。本章叙述了智能仪器的发展概况、发展趋势、分类、基本结构、特点及智能仪器中常用的微处理器。

1.1 测量仪器的发展概况

20 世纪 50 年代以前,仪器的功能用硬件实现,几乎没有软件的介入,完全由生产厂商在产品出厂前定义好,测量结果用指针显示,称为模拟式(指针式)仪器。仪器体积庞大、功能单一、价格昂贵、开放性差、响应速度慢、精度低。这类仪器包括万用表、电子示波器、信号发生器等磁电式和电子式模拟仪器仪表。

20 世纪 60 年代,随着集成电路的出现,产生了以集成电路芯片为基础的数字式仪器,其基本工作原理是在测量过程中将模拟信号转换为数字信号,测量结果以数字形式显示和输出。数字式仪器读数清晰、响应速度快、精度高,如数字电压表、数字功率计、数字频率计等。

20 世纪 70 年代以后,随着微处理器的出现和广泛应用,以微处理器为核心,产生了将计算机技术与测量仪器相结合的仪器,不仅具有对数据采集、存储、运算、逻辑判断等能力,还可以根据被测参数的变化自动选择合适的量程、自动校准、自动补偿、自动判断故障、优化控制等,将这种具有一定人类智能作用的仪器称为独立式智能仪器(以下简称智能仪器)。智能仪器测量范围宽、精度高、稳定性好。例如多功能万用表,可测量传统的直流电压、电流,还可测量交流电压、电流的有效值、频率、温度等。智能仪器一般均配有 GPIB(或 RS-232C、RS-485)等通信接口,可与其他智能仪器组成智能仪器系统。其中,配有 GPIB 接口的仪器可借助无源电缆总线按积木式连接,灵活地组成自动测试系统,完成复杂的测试任务。

20 世纪 80 年代初期,随着个人计算机(PC)的应用,将仪器中的测量部分配以相应的接口电路组成各种仪器卡,插入到 PC 的插槽或扩展槽内。这种以个人计算机为基础组成的智能仪器称为个人仪器(PC 仪器)。它将传统的独立式智能仪器与计算机的软、硬件资源结合起来,利用仪器卡完成数据采集,利用 PC 的硬件和软件资源完成数据分析和显示,具有较高的性价比。不同功能的个人仪器有机结合可构成个人仪器系统。个人仪器系统的总线由各生产厂家自行定义,无统一标准,用户在组建系统时难以选择。因此,1987 年由惠普(HP)等 5 家仪器公司联合推出 VXI 接口总线标准。VXI 是一个开放式结构,允许不同生产厂家的仪器卡在同一机箱中工作。采用 VXI 总线标准的个人仪器系统称为 VXI 总线系统,一般由计算机、VXI 仪器模块和 VXI 总线机箱构成,可充分发挥计算机的效能,灵活方便、标准化程度高、扩展性好。

随着微处理器的速度越来越快,价格越来越低,它已被广泛用于智能仪器仪表中,使得一些实时性要求很高,原本由硬件完成的功能,可以通过软件来完成,甚至许多原来用硬件电路难以

解决或根本无法解决的问题,也可以采用软件技术很好地解决。一些新的测试理论、测试方法、测试领域和仪器结构不断涌现并发展成熟,逐渐突破了仪器系统的功能主要依赖于改变硬件电路的观念,硬件的作用逐渐被软件所代替。例如,个人计算机仪器 PCI 通过给个人计算机配上不同的模拟通道,使之符合测量仪器的要求,利用计算机已有的磁盘、打印机、绘图仪及软件平台,将仪器面板及操作按钮的图形生成在显示器上,得到软面板,仪器的操作通过单击鼠标完成。

到了 20 世纪 80 年代后期,随着个人计算机的广泛应用及软件在仪器中的重要性的提高,美国国家仪器(NI)公司提出了“虚拟仪器”(Virtual Instrument)的概念。虚拟仪器是以通用计算机为基础,加上特定的硬件接口设备和为实现特定功能而编制的软件形成的一种新型仪器,通常由计算机、仪器模块和软件模块 3 部分组成。仪器模块的功能主要靠软件实现,用户可自己设计、自己定义仪器功能。通过编程在显示屏上构成波形发生器、示波器或数字万用表等传统仪器的软面板,而波形发生器发出的波形、频率、占空比、幅值、偏置等,或者示波器的测量通道、标尺比例、时基、极性、触发信号(沿口、电平、类型……)等都可用鼠标或按键进行设置,如同使用常规仪器一样,从而代替示波器、逻辑分析仪、信号发生器、频谱分析仪等传统测量仪器,并且具有更强的分析处理能力,使同一台虚拟仪器可应用于更多场合,改变了用户只能使用制造商提供的仪器功能的传统观念,使仪器从传统硬件为主的测量系统转变到以软件为中心的测量系统。

虚拟仪器中的计算机通常是个人计算机,也可以是任何通用电子计算机。仪器模块是各种传感器、信号调理器、模数转换器(ADC)、数模转换器(DAC)、数据采集器(DAQ)等。二者组成了虚拟仪器硬件测试平台,主要完成被测输入信号的采集、放大、模数转换及输出信号的数模转换等功能。

软件技术是虚拟仪器的核心技术。目前,较流行的虚拟仪器软件环境大致可分为两种:一种是文本式的编程语言,如 C、LabWindows/CVI, Visual Basic, Visual C++ 等;另一种是图形化编程语言,如 LabView、HPVEE 等。

当硬件确定后,用户可以通过不同测试功能的软件模块(如用于数据分析、过程通信及图形用户界面的软件)的组合来实现不同的功能。即使用同一个硬件系统,只要应用不同的软件编程,就可得到功能完全不同的测量仪器。可见,软件系统是虚拟仪器的核心,因此从某种意义上可以说:“软件就是仪器”。

虚拟仪器具有测量精度高、测量速度快、可重复性好、开关少、电缆少、系统组建时间短、测量功能易于扩展的优点。虚拟仪器有最终取代大量的传统仪器成为仪器领域主流产品的趋势,将成为测量、分析、控制、自动化仪表的核心。

随着 Internet 的出现及网络互连设备成本的降低与技术的进步,使得 Internet 在各领域得以综合利用。同时,信息的载体越来越电子化,测量结果可以通过电缆、光纤、Internet、移动通信、电视等媒介传输和显示(输出),通信突破了传统通信方式在时空与地域方面的障碍。在测量测试领域,人们可以把信息系统与测量系统通过 Internet 连接起来,将仪器、昂贵的外围设备、测试对象及数据库等资源纳入网络,使一台仪器为更多的用户所使用,降低了测试系统的成本,实现对测量的远地化、网络化及测量结果信息资源共享化的要求。这种借助于网络通信技术与虚拟仪器技术共享软、硬件的结合体,称为网络化仪器,如远程医疗、远程数据采集与控制、高档测量仪器设备资源的远程实时调用、远程设备故障诊断、远程设备的控制、远程设备的故障恢复等。再如,对于环境恶劣的数据采集工作可实行远程采集,将采集的数据放在服务器中供用户使用。重要的数据实行多机备份,提高系统的可靠性。网络化仪器涉及多门学科、涵盖范围更宽、应用领域更广,可以使测试人员不受时间和空间的限制,随时随地获取所需的信息。同时还可以实现测试设备的远距离测试与诊断,提高测试效率,减少测试人员的工作量,方便修

改、扩展。

国内外一些大型电子仪器公司已经在积极研制和开发新型的网络化仪器,如安捷伦科技有限公司(Agilent)研制出具有网络功能的 16700B 型网络化逻辑分析仪,可实现任意时间、任何地点对系统的远程访问,实时获得仪器的工作状态;通过友好的用户界面,对远程仪器的功能和状态进行控制和检测;将远程仪器测得的数据经网络迅速传递给本地计算机。

智能仪器是计算机科学、电子学、数字信号处理、人工智能、VLSI 等新兴技术与传统仪器仪表技术相结合的产物。随着专用集成电路、个人仪器、网络技术等相关技术的发展,各种功能的智能仪器将会广泛地应用在各个领域。

1.2 智能仪器的发展趋势

随着微电子技术、网络技术的发展,智能仪器将向着微型化、多功能化、人工智能化、网络化等方向发展。

1. 微型化

随着微电子技术、微机械技术、信息技术等的不断发展,将其应用于智能仪器,成为体积小、具有传统智能仪器功能的微型智能仪器。随着微电子机械技术的不断发展和成熟,价格不断降低,应用领域不断扩大,不但应用于传统智能仪器领域,而且在自动化技术、航天、军事、生物技术、医疗领域起到独特的作用。例如,在医疗领域,要同时测量一个病人的几个不同的参量,并进行某些参量的控制,传统观测时,通常病人的体内要插进几个管子,增加了病人感染的机会,利用可植入人体的微型智能仪器,由于体积小,可同时测量多参数,大大减轻了病人的痛苦。

2. 多功能化

多功能是智能仪器的一个重要特点。例如,为了设计速度较快和结构较复杂的数字系统,仪器生产厂家制造了具有脉冲发生器、频率合成器和任意波形发生器等功能的函数发生器。这种多功能的综合型产品不但在性能上比专用脉冲发生器和频率合成器高,而且在各种测试功能上也提供了较好的解决方案。

3. 人工智能化

人工智能是利用计算机模拟人的智能,使智能仪器在视觉(图形及色彩)、听觉(语音识别及语言领悟)、思维(推理、判断、学习与联想)等方面代替一部分人的脑力劳动,具有一定的人工智能作用,无须人的干预就可自主地完成检测或控制任务,解决用传统方法很难解决或根本无法解决的问题。

4. 网络化

计算机网络技术的日益成熟提供了将测控、计算机和通信技术相结合的可能。利用网络技术将各个分散的测量仪器设备连在一起,使测量不再是单个仪器设备相互独立操作的简单组合,而是一个统一的、高效的整体,各仪器设备之间通过网络交换数据和信息,实现各种数据和信息跨地域、跨时间的传输与交换,实现了各仪器资源的共享和测量功能的优化。这是国防、通信、铁路、航空、航天、气象和制造等领域的发展趋势。

1.3 智能仪器的分类、组成和特点

1.3.1 智能仪器的分类

从发展应用的角度看,智能仪器系统分为微机内嵌(内藏)式和微机扩展式两大类。微机内

嵌式将微机作为核心部件嵌入到智能仪器中,仪器包含一个或多个微机,属于嵌入式系统(Embedded System)。利用微机强大的功能完成信号调理、A/D 转换、数字处理、数据存储、显示、打印、通信等各项任务。例如,高级汽车的燃料喷射系统、空调系统、音响系统、ABS 系统、卫星定位系统、安全气囊系统等多处都含有微机。微机扩展式是将检测功能扩展到微机中,给使用者的感觉首先是一个微机系统,由特定的硬件模块完成被测输入信号的采集、放大,以及输出信号的数模转换等功能,并利用微机的硬件和软件资源完成数据分析和显示。前面介绍的仪器、VXI 总线仪器、虚拟仪器等属于微机扩展式仪器。微机内嵌式智能仪器是智能仪器设计的基础,本书将着重介绍。

1.3.2 智能仪器的组成

智能仪器由硬件和软件两大部分组成。硬件包括微处理器、存储器、输入通道、输出通道、人机接口电路、通信接口电路等部分。微机内嵌式智能仪器的基本结构如图 1.1 所示。微处理器是仪器的核心;存储器包括程序存储器和数据存储器,用来存储程序和数据;输入通道主要包括传感器、信号调理电路和 A/D 转换器等,完成信号的滤波、放大、模数转换等;输出通道主要包括 D/A 转换器、放大驱动电路和模拟执行器等,将微处理器处理后的数字信号转换为模拟信号;人机接口电路主要包括键盘和显示器,是操作者和仪器的通信桥梁,操作者可通过键盘向仪器发出控制命令,仪器可通过显示器将处理结果显示出来;通信接口电路可实现仪器与计算机或其他仪器的通信。

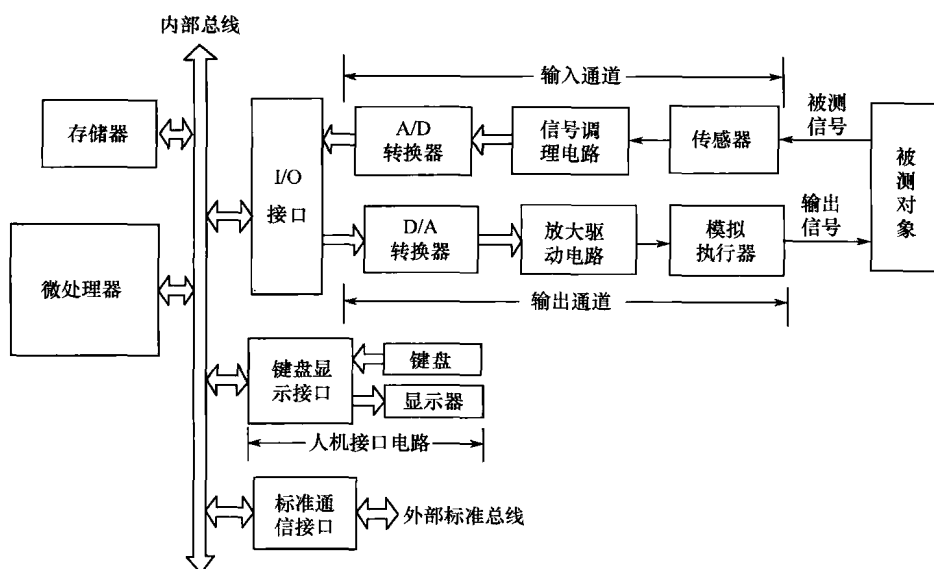


图 1.1 微机内嵌式智能仪器的基本结构

1.3.3 智能仪器的特点

智能仪器内部带有处理能力很强的智能软件,具有类似人类智能的特性或功能,具有以下特点。

① 操作自动化。仪器的整个测量过程,如键盘扫描、量程选择、开关闭合、数据采集、传输与处理、显示打印等功能用微控制器控制,实现了测量过程的自动化。

② 具有自测功能。包括自动调零、自动故障与状态检验、自动校准、自诊断及量程自动转换、触发电平自动调整、自补偿、自适应等,能适应外界的变化。例如,能自动补偿环境温度、压力

等对被测量的影响,能补偿输入的非线性,并根据外部负载的变化自动输出与其匹配的信号等。自动校准通过自校准(校准零点、增益等)来保证自身的准确度。自诊断能检测出故障的部位,甚至故障的原因。自测试功能可以在仪器启动时运行,也可在仪器工作中运行,极大地方便了仪器的维护。

③ 具有数据分析和处理功能。智能仪器采用了单片机或微控制器,这使得许多原来用硬件逻辑电路难以解决或根本无法解决的问题,可以用软件非常灵活地解决。例如,传统的数字万用表只能测量电阻、交直流电压、电流等,而智能型的数字万用表不仅能进行上述测量,而且还具有对测量结果进行诸如零点平移、取平均值、求极值、统计分析等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,而且有效地提高了仪器的测量精度。

④ 具有友好的人机对话功能。智能仪器使用键盘代替传统仪器中的切换开关,操作人员通过键盘输入命令,用对话方式选择测量功能和设置参数。同时,智能仪器能输出多种形式的数
据,如通过显示屏将仪器的运行情况、工作状态和处理结果以数字或图形的形式输出。

⑤ 具有可编程操作能力。一般智能仪器都配有 GPIB、RS-232C、RS-485、USB 等标准的通信接口,可以接收计算机的命令,具有可编程操作的功能。这些特性方便与 PC 和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,完成更复杂的测试任务。

除此之外,智能仪器还能通过自学学会处理更多、更复杂的程序。但不是所有的智能仪器都必须具备上述所有功能,在设计具体的智能仪器时应根据实际需要确定其功能。

1.4 智能仪器中微处理器的选择

微处理器(MPU)是智能仪器的核心部件,是推动智能仪器向微型化、多功能化和更加灵活的方向发展的动力,智能仪器硬件和软件的设计与微处理器有着密切的关系,微处理器的结构和特性对智能仪器的性能有很大影响。

智能仪器中的微处理器多采用单片机。本节介绍智能仪器中常用的几种单片机,包括基于 8051 内核的单片机、PIC 系列单片机、基于 ARM 内核的单片机、基于 AVR 的单片机、DSP 型单片机。

1.4.1 单片机概述

单片机是在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM、时钟、定时/计数器、串行/并行 I/O 口等的微型计算机,有些型号的单片机包括 A/D 转换器、D/A 转换器、模拟比较器、脉宽调制器、USB 口等,功能强、体积小、价格低、支持软件多、便于开发,智能仪器多选单片机作为智能控制部件。不同单片机的区别主要是在 CPU 的字长、结构,存储器的容量和种类,以及 I/O 功能等方面。在选择具体型号时,应考虑字长、指令功能、寻址范围、寻址方式、内部存储器容量、位处理、中断处理能力、配套硬件、芯片价格及开发平台等。

在字长方面,单片机目前有 4 位、8 位、16 位、32 位,位数越多的单片机在数据处理能力和指令系统方面就越强。8 位单片机由于内部构造简单、体积小、成本低廉,在一些较简单的控制器中应用很广,也是目前应用最广泛的单片机。本书的智能控制部件以 8 位单片机为主。

在指令系统方面,一般而言,指令越丰富,寻址方式越多,操作功能越强,编程更加灵活,但并不是越多越好,应面向具体问题。复杂(集中)指令集计算机(Complex Instruction Set Computer, CISC),数据线和指令线分时复用(即采用冯·诺伊曼结构),指令丰富,功能强大,但取指令和取数据不能同时进行,速度受限,价格也高。例如,Intel 的 8051 系列、Motorola 的 M68HC 系

列、AT89 系列、华邦 Winbond 的 W78 系列和 Philips 的 P80C51 系列等。

当 CISC 发展到一定程度后,一些过于复杂和深奥的指令加入到指令集反而使控制器的设计变得复杂,并占用了 CPU 芯片面积相当大的部分。从处理器的执行效率和开发成本两方面考虑,为了进一步提高单片机的性价比,产生了精简指令集计算机(Reduce Instruction Set Computer, RISC),数据线和指令线分离(即采用哈佛结构)。取指令和取数据可以同时进行,由于取指令和存取数据分别经由不同的存储空间和不同的总线,使得各条指令可以重叠执行,克服了数据流传输的瓶颈,提高了运算速度,可使指令较同类 CISC 单片机指令包含更多的处理信息,执行效率更快。同时,这种单片机指令多为单字节,程序存储器的空间利用率大大提高,便于超小型化设计。例如, Microchip 的 PIC 系列、Zilog 的 286 系列、Atmel 的 AT90S 系列等。

早期的单片机(如 8031)系统,基本采用传统的三总线结构,由单片机及简单外围电路构成,具有独立的数据线、地址线、控制线,在此基础上可以扩展成需要的应用系统结构。这种单片机指令功能强、可扩展性强。它可以应用于各种领域,尤其适用于控制对象比较复杂的某些场合,如智能仪器仪表、通信产品、工业控制系统。但采用传统并行总线结构的单片机内部结构复杂,系统外部硬件设计优化困难,系统资源利用率较低,加上单片机应用的广泛性及多样性,带有各种总线接口的单片机不断推出。如带 I²C 总线的单片机、带 CAN 总线的单片机、带 USB 总线的单片机及带以太网接口的单片机等。

目前常用的单片机有 Intel 公司的 MCS-51/52 系列、Motorola 公司 MC68 系列、PIC16CXX 系列及与之兼容的多种改进升级型芯片,如 Philips 公司的 80C51 系列等。另外,美国 Silabs 公司的 F 系列单片机如 C8051F02X,在需要 A/D、D/A、比较器、多端口、多中断时是比较合适的。Philips 公司的 LPC92X 是一款较低价位的单片机,适合于许多集成度高、成本低的场合,如 LPC920/921/922 采用了高性能的处理器结构,集成了许多系统级的功能,指令执行时间只需 2~4 个时钟周期,6 倍于标准 80C51 器件。这样可大大减少元件的数目和电路板面积并降低系统的成本,可以满足多方面的性能要求。

1.4.2 基于 8051 内核的单片机

MCS-51 系列单片机是 20 世纪 80 年代由 Intel 公司推出的一种 8 位单片机,主要有 8031 系列、8051 系列。其片内集成并行 I/O 口、串行 I/O 口、16 位定时/计数器、RAM、ROM 等。最高时钟频率为 12MHz,采用 CISC 体系指令系统,三总线结构。

51 系列单片机不断推陈出新,许多厂家生产与 8051 指令系统兼容的单片机,即 8051 内核的单片机,基于 51 内核的产品已有几十个系列、上百种型号。比如,Atmel 公司的 AT89C 系列、AT89S 系列;Silicon Laboratories 公司的 C8051F 系列;Philips 公司的 8XC552 系列;Motorola 公司的 6801、6802、6803、6805 和 68HC11 系列;Zilog 公司的 Z8、Super8 系列;TI 公司的 TMS7000 系列等。这些单片机采用兼容 MCS-51 的结构和指令系统,只是对其功能和内部资源等方面进行了不同程度的扩展。如 AT89 系列的最大特点是片内含有 Flash 存储器,用“89CXXXX”或“89LVXXXX”或“89SXXXX”等表示。其中,“9”表示芯片内部含 Flash 存储器,“C”表示是 CMOS 产品,“LV”表示低电压产品,“S”表示含可下载的 Flash 存储器,“XXXX”为表示型号的数字,如 51,2051,8252 等。而 C8051FXXX 系列的主要特点是速度快(高达 25MIPS 的速度,比标准 8051 快 20 倍以上)、大的模拟信号处理功能(有多达 32 路 12 位 ADC 或高达 500kHz 的 8 位 ADC,两路 12 位精度的 DAC,两路模拟比较器,高精度基准电源,程控放大器和温度传感器)、先进的 JTAG 调试功能(支持系统全速非插入调试和编程,不占用任何片内资源)、强大的控制功能(有多达 64 位 I/O 口线)、多达 22 个的中断源、多达 64KB 的 Flash 存储

器、片内有多达 4KB 的 RAM 存储器、可靠的安全机制等。

51 系列单片机是单片机的主流机型,技术性能及开发手段都较成熟,以其高性能、高速度、体积小、价格低廉、可重复编程和方便功能扩展等优点,不仅在智能仪器设计中得到了广泛应用,而且在机电一体化设备、家电产品及玩具(电视、冰箱、洗衣机、玩具、家用防盗报警器)等领域也得到广泛应用。

1.4.3 MSP430 系列单片机

MSP430 系列单片机是美国 TI(德州仪器)公司 1996 年推出的超低功耗、高集成度的 16 位单片机,由 CPU、程序存储器、数据存储器、外围模块、振荡器/系统时钟模块和控制电路组成,对存储器进行统一编址,利用公共存储器空间对系统全部功能模块进行寻址。采用精简指令集(RISC)结构,具有丰富的寻址方式(7 种源操作数寻址、4 种目的操作数寻址)、简洁的 27 条内核指令及大量的模拟指令、大量的寄存器及片内数据存储器都可参加多种运算、高效的查表处理指令。具有以下特点:

① 运算速度快。能在 25MHz 晶体的驱动下,实现 40ns 的指令周期。16 位的数据宽度、40ns 的指令周期及多功能的硬件乘法器(能实现乘加运算)相配合,能实现数字信号处理的某些算法(如 FFT 等)。

② 超低功耗。电源电压采用 1.8~3.6V。有两个不同的时钟系统:基本时钟系统、锁频环(FLL 和 FLL+)时钟系统和 DCO 数字振荡器时钟系统。可以只使用一个晶体振荡器(32768Hz),也可以使用两个晶体振荡器。由时钟系统产生 CPU 和各功能所需的时钟。并且这些时钟可以在指令的控制下打开和关闭,从而实现总体功耗的控制。在 1MHz 的时钟条件下运行时,芯片的电流最低在 165 μ A 左右,RAM 保持模式下的最低功耗只有 0.1 μ W。

③ 片内资源丰富。各系列都集成了较丰富的片内外设。它们分别是看门狗(WDT)、模拟比较器 A、定时器 A0(Timer_A0)、定时器 A1(Timer_A1)、定时器 B0(Timer_B0)、UART、SPI、I2C、硬件乘法器、液晶驱动器、10/12 位 ADC、16 位 Σ - Δ ADC、DMA、I/O 端口、基本定时器(Basic Timer)、实时时钟(RTC)和 USB 控制器等若干外围模块的不同组合,为系统的单片解决方案提供了极大的方便。

④ 方便高效的开发环境。MSP430 系列有 OTP 型、Flash 型和 ROM 型的器件,这些器件的开发手段不同。对于 OTP 型和 ROM 型的器件,使用仿真器开发成功之后烧写或掩膜芯片;对于 Flash 型,则有十分方便的开发调试环境,因为器件片内有 JTAG 调试接口,还有可电擦写的 Flash 存储器,因此采用先下载程序到 Flash 内,再在器件内通过软件控制程序的运行,由 JTAG 接口读取片内信息供设计者调试使用的方法进行开发。MSP430 系列单片机特别适用于功率消耗要求较低场合,广泛应用于自动信号采集系统,如家用仪表(水表、气表、热表、电表等)、液晶显示的智能化仪器智能检测与控制系统、医疗与运动设备、家用电器和保安系统等领域。

目前的型号已达到 100 多种,可以适合不同的产品开发需要。既有通用类型的单片机,也有具有一定专用性能的单片机,充分考虑了设计者对功能模块的需求,很多设计可以达到一片设计,比如一片 MSP430FE427 即可设计多功能电表。

1.4.4 PIC 系列单片机

PIC 系列单片机是 Microchip 公司的产品,在单片机行业首先引入 RISC 结构,是嵌入式应用的主流产品。采用精简指令集计算机(RISC)和哈佛双总线、两级指令流水线结构的高性价比