

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

智能仪器设计

尚振东 张登攀 牛群峰 主 编
蔡海潮 徐回忆 副主编

Intelligent Instrument Design

清华大学出版社

普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材

智能仪器设计

Intelligent Instrument Design

尚振东 张登攀 牛群峰 主 编
蔡海潮 徐回忆 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书结合工程实际,注重案例教学,侧重讲述智能仪器研发的全局性、普遍性问题及其解决方法,对现代智能仪器技术的理论和实践成果进行了较为系统全面的阐述。

全书共分12章,内容包括:绪论、总体设计、传感器与放大器设计、模数转换电路设计、数据采集通道设计、微处理器与可编程器件设计、软件设计、人机界面设计、通信总线与接口设计、结构设计、电磁兼容设计和可测性设计等。每章都根据需要穿插了相关应用案例,也附有一定数量的思考题与习题。本书在内容编排上既体现了智能仪器工程设计的系统性和新颖性,又加强了工程应用的针对性和实用性。

本书可作为高等学校仪器仪表及自动化类专业“智能仪器设计”课程的教材,同时可供有关工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器设计/尚振东,张登攀,牛群峰主编.—北京:清华大学出版社,2019
(普通高等学校仪器科学与技术专业系列教材)
ISBN 978-7-302-52744-2

I. ①智… II. ①尚… ②张… ③牛… 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(2019)第 067165 号

责任编辑:许 龙
封面设计:常雪影
责任校对:刘玉霞
责任印制:丛怀宇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:三河市少明印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:18.5

字 数:449千字

版 次:2019年5月第1版

印 次:2019年5月第1次印刷

定 价:49.80元

产品编号:078615-01

前言

FOREWORD

当今世界已进入信息时代,并迈向知识经济时代。以信息技术为主导的高技术为各行各业的发展提供了极大的支持,并推动着各行各业的变革与发展。测量控制与仪器作为对物质世界的信息进行采集、处理、控制的基础手段和设备,是信息产业的源头和重要组成部分。随着科学技术尤其是电子信息、IT产业和通信技术、计算机技术的飞速发展,生产装备和产品的电子化、数字化、自动化和智能化的程度越来越高,与之配套的仪器仪表的内涵较之以往也发生了很大变化。其自身结构已从单纯机械结构、机电结合和机光电结合的结构发展成为集传感技术、计算机技术、电子技术、现代光学、精密机械等多种高新技术于一身的系统,其应用也从单纯数据采集发展为集数据采集、信号传输、信号处理以及控制为一体的测控过程。特别是进入21世纪以来,随着计算机网络技术、软件技术、微纳米技术的发展,测控技术呈现出虚拟化、网络化和微型化的发展趋势,从而使仪器仪表学科的多学科交叉及多系统集成而形成的边缘学科的属性越来越明显。

综合了测量技术、电子技术、自动化技术和计算机技术于一体的智能仪器系统的研发成为国内外厂商的重大课题。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。国内高等院校和相关研究机构很早就展开了有关智能仪器的研究和教学,为智能仪器专业人才培养发挥了重大作用。

与国内已经出版的同类书籍相比,本书更加注重从工程视角审视智能仪器的整体问题。随着芯片集成度的提高,很多情况下只要选择合适的、内嵌了所需功能部件的单片机就可满足要求,而无须扩展其他功能芯片。因此,将各种器件与单片机接口相关内容尽量删减,而把与智能仪器设计至关重要的总体设计作为重点讲解,对传感器与放大器、模数转换电路等数据采集通道、微处理器与可编程器件、软件、人机界面、通信总线、机械结构、电磁兼容和自检调试等对智能仪器功能指标密切相关的内容进行讨论。在介绍相关器件内容时,略讲其工作原理,将重点放在器件的选择和应用上。考虑到智能仪器的种类千差万别,应用场合纷繁复杂,难以找到覆盖面广、典型和通用的参照实例,因此,本书没有专设一章讲述智能仪器实例,而是在介绍相关知识时,根据需要选择与其相对应的实例,穿插其中。

本书第1章是“绪论”,从仪器仪表的地位、发展历史等,介绍智能仪器的一些基本知识。第2章是“总体设计”,介绍智能仪器的总体设计的内容和方法,总体设计关系着一项设计任务的成败。第3章是“传感器与放大器设计”,讲述传感器的分类和选用方法,介绍放大电路的工作原理。第4章是“模数转换电路设计”,介绍A/D转换器和D/A转换器的类型和选用方法。第5章是“数据采集通道设计”,介绍数据采集通道结构和误差分析方法。数据采

集通道是包括智能仪器在内的所有仪器的主要环节,其精度直接关系智能仪器的精度。第6章是“微处理器与可编程器件设计”,介绍微处理器选择和当前流行的单片机类型,以及多单片机系统和可编程逻辑器件。第7章是“软件设计”,介绍有关数据处理、误差处理、标度变换和自动测量等算法,使学生对智能仪器软件设计有所了解。第8章是“人机界面设计”,介绍常见显示器、键盘、打印机的特点和选用方法,以及与人机操作关系密切的监控程序编程方法。第9章是“通信总线与接口设计”,介绍智能仪器中的主流总线标准和通信接口设计方法。第10章是“结构设计”,介绍整机模块的布局和包括机箱、机壳、机柜在内的机械结构设计。第11章是“电磁兼容设计”,介绍智能仪器软硬件抗干扰设计和容错设计的基本知识。第12章是“可测性设计”,介绍智能仪器系统检测、校准与检定的基本知识,以及智能仪器的调试方法。

本书作为本科生教材的参考教学时数为32~40学时。使用本书时应先安排学习电子技术、微机原理、检测技术、控制理论等课程,为本课程的学习打好基础。学习时应注意结合实际,分析实例,进行必要的实验,完成一定的习题。研究生教学应安排课程设计,加强设计与调试训练,提高学生的学习效果和解决问题的能力。

本书融合了作者多年的工程实际经验,是作者多年科研和教学的积累。编写本书旨在为高等学校仪器仪表及自动化类专业的本科生及研究生提供一本工程视角的教材或教学参考书。

本书的第1、2、8、10章由河南科技大学尚振东编写,第3、4、5章由河南理工大学张登攀编写,第6、7、9章由河南工业大学牛群峰和徐回忆编写,第11、12章由河南科技大学蔡海潮编写。全书由尚振东、张登攀和牛群峰统稿并任主编。

本书由北京航空航天大学博士生导师王中宇教授和河南科技大学博士生导师韩建海教授审阅。他们为本书提出了很多宝贵的意见和建议,在此深表谢意。

本书的出版得到了清华大学出版社的大力支持,在此表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在一些缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2018年10月

目 录

CONTENTS

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 仪器仪表	1
1.1.2 从传统仪器到智能仪器	3
1.1.3 智能仪器的组成和结构	3
1.1.4 智能仪器的主要特点和发展趋势	5
1.2 课程的主要内容和学习方法	7
思考题与习题	8
第 2 章 总体设计	9
2.1 概述	9
2.1.1 智能仪器设计过程	9
2.1.2 总体设计及其内容	10
2.2 设计任务来源和分析	11
2.2.1 设计任务来源	11
2.2.2 设计任务分析	12
2.3 功能规划和指标确定	14
2.4 设计原则与原理	18
2.4.1 阿贝原则及其扩展	19
2.4.2 平均读数与误差分离原理	21
2.4.3 比较测量原理	22
2.4.4 补偿原理	24
2.4.5 标准量细分原理	25
2.4.6 其他设计原则	26
2.5 布局与结构设计	29
2.6 数据采集系统设计	29
2.7 智能仪器通信设计	29
2.8 人机接口设计	30
2.9 电源及功耗设计	32
2.9.1 智能仪器的电源设计	32

2.9.2 智能仪器低功耗设计	32
2.10 总体设计的验证和评审	32
2.10.1 总体设计的验证	32
2.10.2 总体设计的评审	33
思考题与习题	33

第3章 传感器与放大器设计

3.1 概述	34
3.2 传感器	34
3.2.1 传感器组成	35
3.2.2 传感器分类	35
3.2.3 传感器的选择	41
3.2.4 传感器的应用技术	42
3.3 信号放大器	44
3.3.1 前置放大器	44
3.3.2 信号放大器的常见形式	45
3.3.3 常用放大器器件及应用	48
思考题与习题	56

第4章 模数转换电路设计

4.1 A/D转换器	57
4.2 比较型 A/D转换器	59
4.2.1 逐次比较型 A/D转换器的工作原理	59
4.2.2 ADC0809 的工作原理及应用	60
4.2.3 AD574A 的工作原理及应用	64
4.3 双积分型 A/D转换器	66
4.3.1 双积分型 A/D转换器的工作原理	66
4.3.2 双积分型 A/D转换器的特点	68
4.3.3 5G14433 的工作原理及应用	68
4.3.4 ICL7135 的工作原理及应用	70
4.4 V/F型 A/D转换器	71
4.4.1 V/F型 A/D转换器的特点	71
4.4.2 LM331 的工作原理及应用	71
4.5 Σ - Δ 型 A/D转换器	73
4.5.1 工作原理	73
4.5.2 AD7703 的工作原理及应用	74
4.5.3 CS5360 的工作原理及应用	77
4.6 A/D转换器的选用	81
4.7 信号输出与 D/A转换器	84

4.7.1 输出通道的信号种类	84
4.7.2 D/A 转换器的性能指标与选用	85
4.7.3 常用 D/A 转换器	86
思考题与习题	92

第 5 章 数据采集通道设计	93
5.1 概述	93
5.1.1 数据采集通道基本组成	93
5.1.2 数据采集通道的特性	94
5.2 数据采集通道的结构	94
5.2.1 集中采集式	94
5.2.2 分散采集式	95
5.2.3 应用实例	96
5.3 数据采集通道的误差分析	97
5.3.1 采样误差	97
5.3.2 模拟电路的误差	99
5.3.3 A/D 转换器的误差	100
5.3.4 数据采集通道误差的计算	100
5.3.5 数据采集通道的误差分配实例	101
思考题与习题	104

第 6 章 微处理器与可编程器件设计	105
6.1 微处理器	105
6.2 单片机	107
6.2.1 单片机的特点和选择	107
6.2.2 MCS-51 系列单片机	109
6.2.3 PIC 系列单片机	111
6.2.4 68 系列单片机	113
6.2.5 MCS-296 系列单片机	113
6.2.6 MSP430 单片机	114
6.2.7 ARM 单片机	116
6.3 DSP	119
6.3.1 DSP 的主要结构	120
6.3.2 DSP 的选择和应用	120
6.4 多微处理器系统	122
6.4.1 概述	122
6.4.2 多单片机系统的结构	122
6.5 可编程逻辑器件	127
6.5.1 概述	127

6.5.2 CPLD 简介	128
6.5.3 FPGA 简介	131
思考题与习题	133

第7章 软件设计

7.1 概述	134
7.2 软件开发环境与编程语言	135
7.2.1 软件开发环境	135
7.2.2 编程语言	135
7.3 结构化程序设计和软件系统结构分析	136
7.3.1 层次结构	136
7.3.2 功能结构	137
7.3.3 进程结构	138
7.4 软件系统的规划和设计步骤	139
7.4.1 软件系统的规划	139
7.4.2 软件系统的设计步骤	141
7.5 数据处理算法	143
7.5.1 概述	143
7.5.2 常用数据处理算法	144
7.6 软件设计实例	150
7.6.1 系统功能	150
7.6.2 硬件电路	151
7.6.3 软件系统规划	152
7.6.4 软件系统框架	152
思考题与习题	154

第8章 人机界面设计

8.1 人机界面	155
8.1.1 人机界面设计概述	155
8.1.2 可用性设计	156
8.2 人机界面的设计原则	157
8.3 人因工程学及其应用	159
8.3.1 人因工程学	159
8.3.2 视觉	160
8.3.3 听觉	161
8.3.4 触觉	162
8.3.5 多感觉	162
8.3.6 人体尺寸及肢体的能力	163
8.3.7 人体对环境的要求	163

8.4 人机界面硬件设计	164
8.4.1 面板构成与布置	164
8.4.2 键盘及其分类	164
8.4.3 显示器	166
8.4.4 显示设计	167
8.4.5 微型打印机	169
8.5 人机界面的软件设计	171
8.5.1 概述	171
8.5.2 直接编程法	172
8.5.3 状态变量法	175
8.5.4 图形用户界面法	183
8.6 人机界面设计的评价	185
思考题与习题	185

第9章 通信总线与接口设计	186
9.1 数据通信	186
9.1.1 数据通信的基本概念	186
9.1.2 接口总线	187
9.2 串行标准总线	189
9.2.1 RS-232C 串行接口总线标准	189
9.2.2 RS-422、RS-423、RS-485 接口总线标准	191
9.2.3 USB 接口总线	193
9.3 并行标准总线	195
9.3.1 GPIB 并行接口总线	195
9.3.2 VXI 总线	199
9.3.3 CompactPCI 和 PXI 总线	205
9.4 现场总线	211
9.4.1 概述	211
9.4.2 现场总线通信技术	212
9.5 智能仪器上网与 TCP/IP 协议	213
9.5.1 概述	213
9.5.2 协议与标准	213
9.5.3 以太网接口模块	215
思考题与习题	216

第10章 结构设计	217
10.1 概述	217
10.2 智能仪器结构设计常用材料	219
10.2.1 金属材料	219

10.2.2	非金属材料	220
10.3	造型设计	220
10.4	常见机箱机柜类型	222
10.4.1	机壳类	222
10.4.2	机箱类	222
10.4.3	机柜类	223
10.4.4	机箱结构方案选择	225
10.5	智能仪器热设计	228
10.5.1	智能仪器的热环境	228
10.5.2	智能仪器热控制的目的	229
10.5.3	热控制的基本要求	230
10.5.4	热控制的基本原则	230
10.5.5	热控制的方法	230
10.6	振动与冲击的隔离	234
10.7	电磁兼容性结构设计	234
10.8	结构的其他设计	235
	思考题与习题	237

第 11 章 电磁兼容设计 238

11.1	电磁兼容	238
11.2	硬件抗干扰技术	243
11.2.1	屏蔽技术与传输技术	243
11.2.2	接地技术	247
11.2.3	隔离技术	249
11.2.4	布线与配线	250
11.2.5	滤波器	252
11.2.6	灭弧技术	253
11.2.7	电源干扰的抑制	254
11.3	软件干扰抑制技术	257
11.3.1	软件抗干扰的前提条件	257
11.3.2	数据采集误差的软件对策	257
11.3.3	控制状态失常的软件对策	258
11.3.4	程序运行失常的软件对策	259
	思考题与习题	259

第 12 章 可测性设计 261

12.1	故障诊断	261
12.1.1	故障模型	261
12.1.2	故障测试	261

12.1.3	模拟电路故障检测	263
12.1.4	数字电路的故障检测	265
12.1.5	自检安排	270
12.2	智能仪器的调试	270
12.2.1	可测性设计	270
12.2.2	智能仪器调试过程	271
12.2.3	模拟电路的调试	272
12.2.4	数字电路的调试	273
12.2.5	软件程序的调试	273
12.2.6	开发系统	275
12.2.7	JTAG 调试	276
12.2.8	远程更新软件	278
12.3	智能仪器的标定	279
12.3.1	概述	279
12.3.2	测控系统的静态标定	280
12.3.3	测控系统的动态标定	280
12.3.4	力测量装置的标定	280
12.3.5	温度测量装置的标定	281
12.4	智能仪器设计文件	282
	思考题与习题	282
	参考文献	283

绪 论



本章概述仪器仪表及其分类和作用,介绍智能仪器的组成、结构、特点和发展趋势,并简要介绍本课程的主要内容和学习方法。

1.1 概述

1.1.1 仪器仪表

我们身边就有许多仪器仪表,如手表、电表、水表、燃气表、车载仪表、计量仪器、医疗检测仪器等。这些仪器仪表在我们日常生活和工作中发挥着巨大的作用,并会随着社会发展和科技进步扮演更加重要的角色。

仪器(instrumentation)是用以检出、测量、观察、计算各种物理量、物质成分、物性参数等的器具或设备。仪表(meter)属于仪器,一般是指具有指示或显示数据功能的小型仪器。仪器仪表的工作原理是用物理、化学或生物等方法,获取被检测对象运动或变化的信息,通过信息转换和处理,使其成为易于人们阅读和识别的量化形式,或进一步信号化、图像化,以利于观测、存档,或直接进入自动化、智能化控制系统。

仪器仪表种类繁多,按工作能量分为机械仪器仪表、电子仪器仪表,其中电子仪器仪表又分为模拟电子仪器仪表、数字电子仪器仪表和智能仪器。

根据应用领域仪器仪表分为计量测试仪器、分析仪器、生物医疗仪器、地球探测仪器、天文仪器、航空航天航海仪表、汽车仪表、电力仪表和石油化工仪表等,还可分为自动化仪表与控制系统、科学仪器(主要包括分析仪器、光学仪器、环保仪器等)、医疗仪器、电子测量仪器和各种专用仪器(如地质仪器、气象海洋仪器、航天航空仪器、汽车仪表等)等。

多年来,相关领域的专家学者对仪器仪表的作用进行了深入研究。当今世界经过新技术革命从工业时代进入信息时代并向知识经济时代迈进。钱学森曾指出:“新技术革命的关键技术是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术、通信技术三部分组成。测量技术

则是关键和基础。”王大珩也曾指出“仪器仪表是信息产业的重要组成部分,是信息工业的源头”。仪器仪表的作用是获取作为决策和控制依据的信息,它能延伸、扩展、补充或代替人的听觉、视觉、触觉、嗅觉等感觉器官的功能。

仪器仪表是控制生产过程的工具,是工业生产的“倍增器”,在国民经济中具有“四两拨千斤”的作用。飞机没有航空仪表就不能安全飞行,发电厂、炼油厂、化工厂、钢铁厂等没有各种测量与控制仪器仪表就无法正常运转。据美国国家标准技术研究院(NIST)的统计,美国为了质量认证、质量控制、自动化生产及流程分析,每天要完成 2.5 亿次检测,而完成这些检测所需仪器仪表的数量肯定十分可观。我国在建设宝钢股份有限公司时,技术装备投资中有近 1/3 的经费用于购置自动化仪器仪表,而运载火箭试制费用中用于购置仪器仪表的费用更是占到 50% 左右。仪器仪表对国民经济的贡献不仅体现在其投入生产的仪器数量上,更体现在仪器仪表对国民经济的推动作用上。美国商务部国家标准局 20 世纪 90 年代中发布的调查数据表明,美国仪器仪表产业占社会总产值的 4%,而它拉动的相关经济的产值达到社会总产值的 66%。

仪器仪表是人们认识未知世界的科学研究工具,是科学研究的“先行官”。很多科研新领域的开辟是通过相关仪器仪表的创新突破而完成的。我国“两弹一星”的研制就是从相关科学仪器的开发开始的,例如前期高速摄影机的成功改装保证了核爆试验观测火球动态的顺利实施。1922 年的诺贝尔化学奖得主、英国科学家弗朗西斯·阿斯顿于 1919 年研制成功第一台质谱仪,并用这台仪器发现了多种元素同位素,研究了 53 个非放射性元素,发现了天然存在的 287 种核素中的 212 种,第一次证明原子质量亏损。到目前为止,约有 1/4 的诺贝尔物理学奖获得者的工作与仪器研制有关,如查尔斯·哈德·汤斯因发明激光器获得 1964 年诺贝尔物理学奖,阿瑟·伦纳德·肖洛因发明偏振光谱法并有效地提高了仪器的分辨率而获得 1981 年诺贝尔物理学奖等。诸如电子显微镜、质谱技术、CT 断层扫描仪、X 射线物质结构分析仪、光学相衬显微镜、扫描隧道显微镜等高端科学仪器,不仅用来探索自然规律、积累科学知识,而且在科学技术的重大成就和科学研究新领域的开辟方面发挥了重要作用。

仪器仪表是军事上的“战斗力”。一个国家仪器仪表研制水平的高低,决定了该国武器制造层次和武器性能的高低,最终决定了该国军队的战斗力。没有各种仪器仪表的帮助,武器装备在现代化战场上就像战士没有了眼睛和耳朵,只能被动挨打。近十几年来,国际上发生的历次局部战争中使用的高技术武器上都装有多种仪器仪表,在目标探测、精确制导、电子对抗、通信指挥、故障诊断和自我防护中发挥了重要作用。聂荣臻元帅当年领导研制“两弹一星”时提出必须抓好三件大事:一是新材料,二是仪器仪表,三是大型试验设备。近几年来,随着仪器仪表技术的不断发展进步,我国武器装备的研发能力不断提高,在中国人民解放军建军 90 周年大阅兵中有 40% 的装备是首次公开亮相的现代化高技术装备。

仪器仪表是确认证据的“物化法官”。现实生活中商品质检、环境监测、兴奋剂检测、罪证确认等均离不开仪器仪表。我国道路交通安全法将饮酒驾车分为饮酒后驾车和醉酒后驾车两个档次并进行不同程度的处罚。那么现实中如何区分这两种档次呢?国家质量监督检验检疫总局、国家标准化管理委员会发布的《车辆驾驶人员血液、呼气酒精含量阈值与检验》(GB19522—2010)规定:100mL 血液中酒精含量大于等于 20mg 且不足 80mg 的驾驶员即为饮酒后驾车,80mg 以上认定为醉酒后驾车。饮酒者若深吸一口气,以中等力度呼气达 3s

以上,呼气中的酒精含量与血液中的酒精含量可以按一定公式换算。因此,交警可使用呼气式酒精检测仪对饮酒驾车司机进行现场检验,对照上述规定区分饮酒后驾车和醉酒后驾车。

综上,作为信息工业的源头的仪器仪表被广泛应用于“农轻重、海陆空、吃穿用”的各个领域并起着不可替代的重要作用。仪器仪表的发展水平是国家科技水平和综合国力的重要体现。

1.1.2 从传统仪器到智能仪器

回顾电子仪器的发展过程,从使用的元器件来看,它经历了从真空管时代-晶体管时代-集成电路时代三个阶段。若从电子仪器的工作原理来看,它经历了三代:

第一代是模拟式电子仪器。其基本结构是电磁式的,基于电磁测量原理使用指针来显示最终的测量结果。大量指针式的电压表、电流表、功率表及一些通用的测试仪器,均是典型的模拟式仪器。这一代仪器功能简单,精度低,响应速度慢。

第二代是数字式电子仪器。它们的基本结构中离不开 A/D 转换环节,将待测的模拟信号转换为数字信号,测量结果以数字形式输出显示。它的精度高,速度快,读数清晰、直观,结果可打印输出,也容易与计算机技术相结合。同时因数字信号便于远距离传输,所以数字式电子仪器适用于遥测、遥控。

第三代就是智能仪器。它是在数字化的基础上用微处理器装备起来,是计算机技术与电子仪器相结合的产物。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自选量程,可自动校正、自动补偿、自寻故障等,可以做一些需要人类的智慧才能完成的工作,即具备了一定的智能,故称为智能仪器。本书讨论的智能仪器是指含有微处理器的电子测量仪器。

智能仪器属于仪器仪表,是仪器仪表发展到一定程度后的产物。智能仪器是一类新型的电子仪器,它由传统电子仪器发展而来,但又与传统电子仪器有很大区别,特别是微处理器的应用,使电子仪器发生了重大的变革。

1.1.3 智能仪器的组成和结构

智能仪器由硬件和软件两大部分组成。其中硬件部分主要包括计算机系统(包括微处理器、存储器及其接口电路)、数据采集通道(又叫输入通道,包括传感器、放大器、滤波器、整形电路、A/D 转换器等)、控制输出通道(包括 D/A 转换器、功率放大器等)、人机界面模块(包括键盘、显示器、打印机等)、通信接口(包括仪器内模块间的通信接口和对外通信接口)等。软件分为操作系统、监控程序和各種算法模块等。

智能仪器的硬件有两种结构类型,即微处理器内嵌式和微处理器扩展式。微处理器内嵌式是将单个或多个微处理器与其他软硬件有机地结合在一起形成的仪器,微处理器在其中起控制及数据处理作用。其特点主要是:用途相对集中;易实现小型化、便携或手持式结构;可由电池供电;易于密封,适应恶劣环境,成本较低。目前微处理器内嵌式智能仪器在工业控制、科学研究、军工企业、家用电器等方面广为应用。其结构如图 1.1 所示。

由图 1.1 可知,微处理器内嵌式智能仪器以单片机或 DSP 等微处理器为核心,通过总

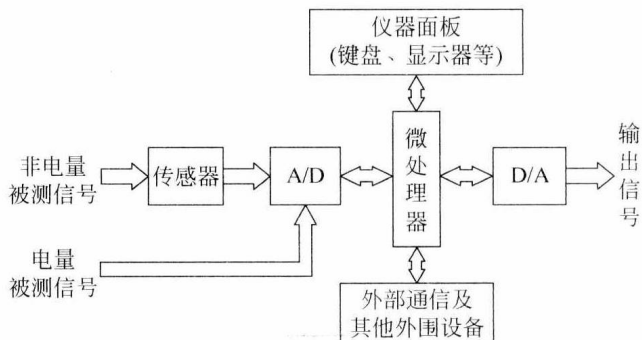


图 1.1 微处理器内嵌式智能仪器基本组成结构

线及接口电路与被测量输入通道、信号输出通道、仪器面板及外设相连。

微处理器扩展式智能仪器是以个人计算机(PC)为核心的应用扩展型测量仪器。由于PC的应用已十分普遍,其价格不断下降,因此从20世纪80年代起就开始有人给PC配上不同的模拟通道,让它能够符合测量仪器的要求,并把它取名为个人计算机仪器(PCI)或称微机卡式仪器。PCI的优点是使用灵活、应用范围广泛,可以方便地利用PC已有的打印机、刻录机、绘图仪、USB设备等获得硬拷贝。更重要的是,PC的数据处理功能及内存容量远大于微处理器内嵌式仪器,因而PCI可以用于更复杂的、更高性能的信息处理。此外,还可以利用PC本身已有的各种软件包,非常方便。如果将仪器的面板及各种操作按钮的图形生成在CRT显示器上,就可得到软面板,构成虚拟仪器。在软面板上就可以用鼠标或触摸屏操作PCI了。图1.2所示为个人计算机仪器的结构图。

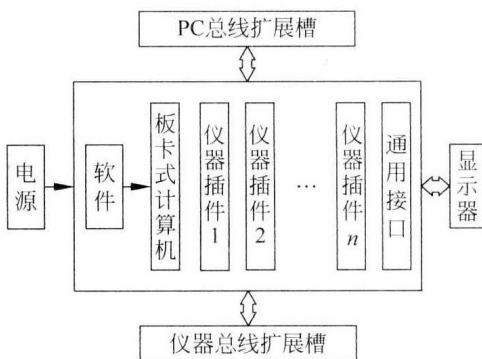


图 1.2 个人计算机式智能仪器基本组成结构

与PCI相配的模拟通道有两种类型：一种是插卡式,即将所配用的模拟量输入通道以印制板的插板形式,直接插入PC机箱内的空槽中;另一种是插件箱式,即将各种功能插件集中在一个专用的机箱中,机箱备有专用的电源,必要时也可以有自己的微机控制器,这种结构适用于多通道、高速数据采集或一些特殊要求的仪器。随着硬件的完善,标准化插件的不断增多,组成PCI的硬件工作量有可能减少。

个人计算机是大批量生产的成熟产品,功能强而价格便宜;个人仪器插件是个人计算机的扩展部件,设计相对简便并有各种标准化插件供选用。因此,在许多场合,采用个人仪器结构的智能仪器比采用内嵌式的智能仪器具有更高的性价比,且研发周期短,研发成本低。个人仪器可选用厂商开发的专用软件(这种软件往往比用户精心开发的软件更完善),由于基于PC平台,依赖操作系统的支持,因此开发环境良好,开发十分方便。另外,个人仪器可通过其CRT显示器向用户提供功能菜单,用户可通过键盘等进行功能、量程选择;个人仪器还可以通过CRT显示数据,通过高档打印机打印测试结果(而显示和打印的驱动程序也是现成的,不用用户操心),因此用户使用十分方便。随着便携式PC的广泛使用,各

种便携式 PCI 也随之出现,其克服了早期便携式仪器功能较弱、性能较差的弱点。总之,个人仪器既能充分运用个人计算机的软硬件资源,发挥个人计算机的巨大潜力,又能大大提高仪器的性价比,因此,个人仪器发展迅速。

在物理结构上,微处理器内嵌于电子仪器,微处理器及其支持部件是整个测试电路的一个组成部分;但是从计算机的观点来看,测试电路与键盘、接口及显示器等部件一样,仅是计算机的一种外围设备。智能仪器是典型的计算机结构,与一般计算机的差别在于它多了一个“专用的外围设备”——数据采集电路,同时还在于它与外界的通信通常都通过专用接口进行。既然智能仪器具有计算机结构,因此它的工作方式和计算机一样,而与传统的测量仪器差别较大。微处理器是整个智能仪器的核心,固化在只读存储器内的程序是仪器的“灵魂”。系统采用总线结构,所有外围设备(包括数据采集电路)和存储器都“挂”在总线上,微处理器按地址对它们进行访问。

虽然智能仪器中数据采集电路仅是作为微型计算机的外围设备而存在,仪器中引入微处理器后有可能降低对数据采集硬件的要求,但仍不能忽视测试硬件的重要性,有时提高仪器性能指标的关键仍然在于测试硬件的改进。

1.1.4 智能仪器的主要特点和发展趋势

计算机技术与测量仪器的结合产生了智能仪器,它所具有的软件功能已使仪器呈现出某种智能的特点,其发展潜力十分巨大,这已经被多年来智能仪器发展的历史所证实。智能仪器具有以下特点:

1. 高新技术密集

由于仪器仪表是科学研究的“先行官”,是人类认识和改造客观世界的工具,因此人们为了加大认识和改造客观世界的广度和深度,必然要利用一切先进的科技成果和技术手段来不断地更新、丰富和发展这一工具。智能仪器技术本来就是一门跨学科的边缘技术学科,许多新的技术领域成果,如计算机软硬件技术、激光技术、微纳米技术、网络技术、传感技术的成果,以及新的理论成果,如信息论、控制论、系统工程理论、宏观和微观领域的各种理论研究成果,常常最先被应用到智能仪器科学技术领域中来。在此基础上,结合智能仪器技术的新设计概念、新的材料和工艺技术的应用,智能仪器技术得到了迅猛的发展。

2. 测量过程的软件控制

仪器中采用微处理器后能实现“硬件软化”,使许多硬件逻辑都可用软件取代,这可使仪器成本降低、体积减小、功耗降低和可靠性提高。20世纪60年代末,数字化仪器的自动化程度已经很高,但随着功能的增加,其硬件结构越来越复杂,而导致体积及重量增大、成本上升、可靠性降低。但当引入微型计算机技术,使测量过程改用软件控制以后,上述问题即得到很好解决。它不仅简化了硬件结构,缩小了体积及功耗,提高了可靠性,增加了灵活性,而且使仪器的自动化程度更高,如实现人机对话、自检测、自诊断、自校准以及 CRT 显示及打印制图等。这就是人们常说的以软件代替硬件的效果。

在进行软件控制时,仪器在 CPU 的指挥下,按照软件流程,进行各种转换、逻辑判断、驱动某一执行元件完成某一动作,使仪器的工作按一定顺序进行下去。在这里,基本操作是