

ZHINENG
YIQI
SHEJI
JICHU

智能

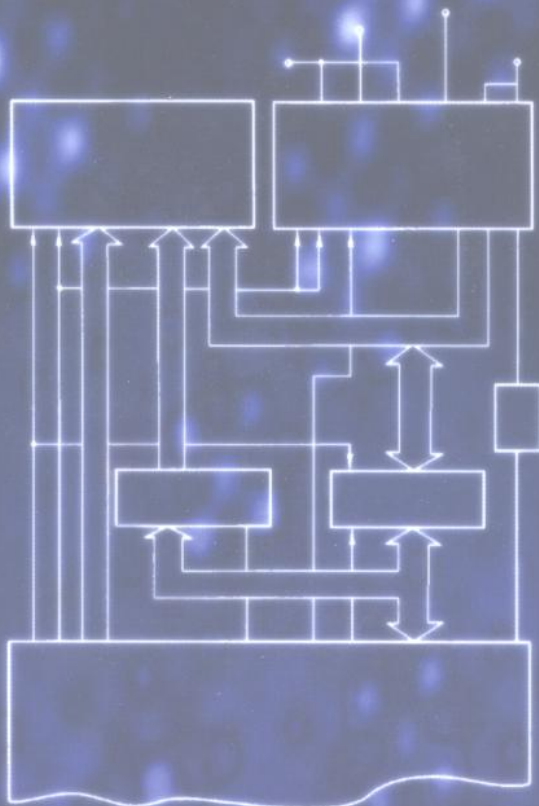
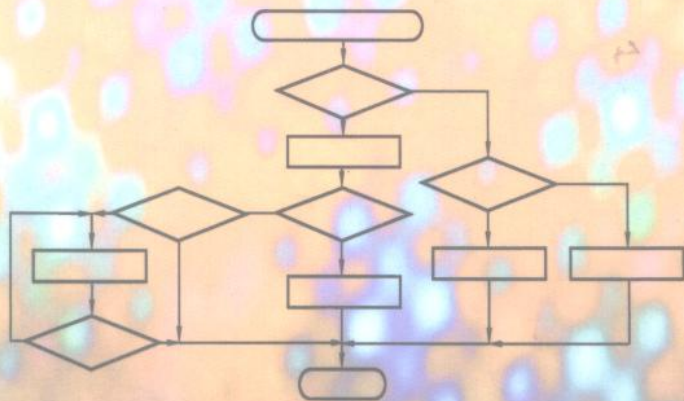
仪器设计基础

赵新民 主编
王 祁 副主编

哈尔滨工业大学出版社

852

4



73.852

774

DG44/04

智能仪器设计基础

主 编 赵新民

副主编 王 祁

哈尔滨工业大学出版社

哈 尔 滨

内 容 提 要

本书为原机械工业部“九五”重点教材,也是国家“九五”重点图书,是按照仪器仪表类测控技术与仪器专业教学指导小组制订的专业培养方案和审定的内容编写的。

本书对智能仪器的工作原理及设计方法作了较全面的介绍。内容包括智能仪器的输入及输出通道的接口技术、外设控制技术、运算及数据处理技术、数据采集系统、自校准及自诊断技术、智能仪器的设计方法及整机介绍等。

本书为高等工业院校测控技术与仪器专业本科生的教材或参考书,也可供从事电子测量仪器、自动控制、电力、电子、计算机应用及与测控技术有关的本科生、研究生、工程技术人员和科研工作人员参考。

智能仪器设计基础

Zhineng Yiqi Sheji Jichu

主编 赵新民

*

哈尔滨工业大学出版社出版发行

哈尔滨工业大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 340 千字

1999年7月第1版 1999年7月第1次印刷

印数 1-3 000

ISBN 7-5603-1411-2/TH·71 定价 18.00 元

前 言

二十多年来,计算机及微电子技术等在测试技术中的应用已经十分广泛。在此基础上发展起来的智能仪器无论是在测量的准确度、灵敏度、可靠性、自动化程度、应用功能等方面或在解决测试技术问题的深度及广度方面都有了巨大的发展,以一种崭新的面貌展现在人们的面前。随着大规模集成电路及计算机技术的迅速发展,以及人工智能在测试技术方面的广泛运用,智能仪器将会有更大的进展。测试仪器的智能化已是现代仪器仪表发展的主流方向,因而它已是当今的测试工作者以及所有与测试技术有关的工程界、教育界及科技界人士所普遍关注的重要问题。了解及熟悉这类仪器的发展概况、工作原理及设计方法无疑是十分重要的。

近年来,我国对智能仪器的研究,无论在生产、科研、教学等方面都取得了很多成绩并积累了许多宝贵经验。本书在编写中不仅注意吸取国外的先进技术,也注意结合我国自己的实际情况,力求使读者能对智能仪器中各方面的问题有一个系统的、具体的了解。

本书按照原机械工业部仪器仪表类测控技术与仪器专业教学指导小组审定的内容进行编写。第一章绪论,概括地介绍了智能仪器的发展情况、特点及基本结构等问题。第二章智能仪器的输入通道及接口技术,介绍了程控放大器接口、量程自动转换、A/D转换器接口等技术,第三章智能仪器外设及控制技术,介绍了非编码键盘及编码键盘系统、编码显示及打印记录技术。第四章智能仪器输出通道及数据通信接口技术,介绍了D/A转换器、开关量输出、串行数据等接口技术。第五章智能仪器的运算程序及数据处理,介绍了常用函数算法、系统误差及随机误差等的数据处理。第六章自动校准和自诊断技术,介绍了仪器的内部及外部自动校准、仪器中数字电路及模拟电路故障自检等技术。第七章HE9701型多功能电量测试仪,介绍了该仪器的总体及其主要环节的设计。第八章数据采集系统,介绍了数据采集系统中的组成、主要环节及系统的设计及误差分析。第九章智能仪器设计,概述了智能仪器设计的方法、硬件设计、软件设计及抗干扰等技术。

本书由清华大学高晋占,天津大学刘宝坤,上海大学孙家琪、秦霆镐,哈尔滨理工大学王学伟,哈尔滨工业大学赵新民、王祁等七位教授共同编写。赵新民为主编并编写第一章,秦霆镐编写第二章,刘宝坤编写第三章,高晋占编写第四章,孙家琪编写第六章,王学伟编写第七章。王祁为副主编并编写第五、八、九章。西南交通大学宋俊寿教授担任主审,对全书进行了细致的审阅,提出了许多宝贵意见。在此,编者表示深切的谢意。由于水平有限,书中难免有不当或疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

1999年5月

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 智能仪器的发展概况	(1)
1.2 智能仪器的特点	(4)
1.3 智能仪器的基本结构	(6)
1.4 虚拟仪器	(7)
1.5 自动测试系统	(9)
第二章 智能仪器的输入通道及接口技术	(13)
2.1 程控放大器及接口	(13)
一、程控同相放大器	(13)
二、程控反相放大器	(16)
三、仪用放大器	(18)
2.2 量程自动转换技术	(22)
一、一般要求	(22)
二、转换电路及接口	(23)
三、量程自动转换电路的控制	(24)
四、量程自动转换电路的保护	(28)
2.3 A/D 转换器接口技术	(29)
一、并行输出 A/D 转换器接口	(30)
二、串 - 并行输出 A/D 转换器接口	(42)
三、串行输出 A/D 转换器接口	(46)
第三章 智能仪器外设及控制技术	(50)
3.1 非编码键盘系统	(50)
一、键盘系统设计要点	(50)
二、键盘检测与可靠性技术	(52)
三、键盘扫描技术	(53)
3.2 编码键盘系统	(58)
一、8279 可编程键盘/显示器接口芯片	(58)
二、编码键盘系统举例	(61)

3.3	数码显示技术	(64)
	一、LED 数码显示技术	(64)
	二、LCD 数码显示技术	(72)
3.4	打印记录技术	(77)
	一、点阵打印记录	(78)
	二、绘图打印记录	(80)
第四章 智能仪器输出通道及数据通信接口技术		(85)
4.1	智能仪器输出通道信号种类	(85)
	一、模拟量输出信号	(85)
	二、开关量输出信号	(85)
	三、数字量输出信号	(86)
4.2	DAC 工作原理及主要技术指标	(86)
	一、DAC 工作原理	(86)
	二、DAC 主要技术指标	(87)
4.3	DAC 接口技术	(88)
	一、电流输出型 DAC 连接成电压输出电路	(88)
	二、DAC 芯片与微型计算机接口	(89)
4.4	数字波形合成与 V/I 转换电路	(93)
	一、数字波形合成	(93)
	二、V/I 转换电路	(95)
4.5	开关量输出	(96)
	一、开关量输出隔离	(97)
	二、开关量输出驱动	(98)
	三、固态继电器(SSR)	(99)
4.6	串行数据通信接口	(101)
	一、串行通信的基本概念	(102)
	二、RS-232C 标准串行接口总线	(103)
	三、RS-422A 与 RS-423A 标准串行接口总线	(105)
	四、RS-485 标准串行接口总线	(106)
第五章 智能仪器的运算程序及数据处理		(109)
5.1	常用函数算法	(109)
	一、三角函数的计算	(109)
	二、平方根的计算	(111)
5.2	测量数据的非数值处理	(112)
	一、数据结构	(112)
	二、线性表查找技术	(113)
	三、链表的插入、删除和查找	(118)

四、排序	(119)
5.3 系统误差的数据处理	(122)
一、系统误差模型的建立	(122)
二、系统误差的标准数据校正法	(126)
三、非线性校正	(126)
四、零位误差和增益误差的校正	(129)
五、温度误差的补偿	(130)
5.4 随机误差的数据处理	(131)
一、限幅滤波	(131)
二、中位值滤波	(132)
三、算术平均滤波	(133)
四、递推平均滤波	(134)
五、加权递推平均滤波	(134)
第六章 自动校准和自诊断技术	(136)
6.1 误差校准和故障诊断	(136)
一、仪器的系统误差及其校准	(136)
二、仪器故障的检测和诊断	(137)
三、仪器故障的自检	(138)
6.2 仪器的内部自动校准	(139)
一、模拟量测量通道的零点漂移和倍率变化	(139)
二、零点漂移的内部自动校准	(142)
三、倍率偏移的内部自动校准	(143)
四、内部自动校准的程序流程	(144)
6.3 仪器的外部自动校准	(144)
一、有关 IEEE - 488 接口的几个基本概念	(146)
二、自动校准系统的工作过程	(147)
6.4 仪器中数字电路故障自检	(150)
一、常用的自检技术	(150)
二、数字电路各组成部分的故障检测	(157)
6.5 仪器中模拟电路故障测试	(162)
一、模拟电路故障测试的困难	(162)
二、利用环绕技术进行模拟量通道的自检	(163)
6.6 仪器的自检安排	(164)
第七章 HE9701 型多功能电量测试仪	(165)
7.1 HE9701 型多功能电量测试仪的总体设计	(165)
一、概述	(165)
二、整机框图	(165)

7.2	HE9701 型多功能电量测试仪的输入回路	(166)
	一、电流输入回路	(166)
	二、电压输入回路	(170)
7.3	HE9701 型多功能电量测试仪的采样电路	(175)
	一、采样电路	(175)
	二、整形二分频电路	(177)
	三、超量限判断电路	(177)
7.4	HE9701 型多功能电量测试仪的测量算法	(178)
	一、复化数值求积公式	(178)
	二、电压、电流采样测量的算法	(179)
	三、电压、电流采样测量算法的误差	(181)
	四、有功功率采样测量的算法	(182)
	五、有功功率采样测量算法的误差	(183)
7.5	HE9701 型多功能电量测试仪的软件流程图	(184)
	一、整机工作程序流程图	(185)
	二、电压测量程序流程图	(185)
	三、有功功率测量程序流程图	(186)
7.6	HE9701 型多功能电量测试仪的自动量程转换与自校准技术	(187)
	一、自动量程转换	(187)
	二、自校准技术	(188)
第八章 数据采集系统		(189)
8.1	数据采集系统的组成	(189)
	一、数据采集系统的组成	(189)
	二、采样定理	(190)
8.2	采样/保持器	(192)
	一、采样/保持器的工作原理	(192)
	二、采样/保持器的主要参数	(192)
	三、集成采样/保持器	(193)
8.3	模拟开关	(194)
	一、模拟开关的主要参数	(194)
	二、多路模拟开关的结构	(195)
	三、集成模拟开关	(195)
	四、模拟开关的通道扩展	(196)
8.4	数据采集系统设计	(197)
	一、系统设计考虑的因素	(197)
	二、数据采集系统结构形式的确定	(198)
	三、数据采集系统实例	(199)
	四、用多路模数转换器芯片组建数据采集系统	(201)

8.5	数据采集系统的误差分析	(204)
	一、采样误差	(204)
	二、模拟电路的误差	(205)
	三、A/D 转换器的误差	(206)
	四、数据采集系统误差的计算	(207)
第九章	智能仪器设计	(208)
9.1	智能仪器设计方法概述	(208)
	一、智能仪器的设计原则	(208)
	二、智能仪器的设计思想	(208)
	三、智能仪器的设计、研制步骤	(209)
9.2	智能仪器硬件设计	(210)
	一、微计算机	(210)
	二、A/D 转换器	(213)
	三、可编程逻辑器件	(214)
9.3	智能仪器软件设计	(215)
	一、结构化程序设计	(215)
	二、基本程序结构	(215)
	三、智能仪器的软件结构	(216)
9.4	智能仪器的调试	(217)
	一、调试的方法	(217)
	二、硬件静态调试	(218)
	三、软件调试	(218)
	四、动态在线调试	(219)
9.5	智能仪器抗干扰技术	(221)
	一、噪声与干扰的基本特性	(221)
	二、串模干扰及其抑制	(222)
	三、共模干扰及其抑制	(224)
	四、模拟电路和数字电路的隔离	(226)
	五、接地方法	(226)
	六、软件的抗干扰技术	(227)
	主要参考文献	(232)

第一章 绪 论

1.1 智能仪器的发展概况

智能仪器是计算机技术与测量仪器相结合的产物,是含有微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、逻辑判断及自动化操作等功能,具有一定智能的作用(表现为智能的延伸或加强等),因而被称之为智能仪器。这一观点已逐渐被国内外学术界所接受。近年来,智能仪器已开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展。它体现为模糊判断、故障诊断、容错技术、传感器融合、机件寿命预测等,使智能仪器的功能向更高的层次发展。我国电磁测量信息处理仪器学会于1984年正式成立“自动测试与智能仪器专业学组”,1986年IMEKO(International Measurement Confederation,国际测量联合会)以“智能仪器”为主题召开了专门的讨论会,IFAC(International Federation of Automatic Control,国际自动控制联合会)1988年的理事会正式确定“智能元件及仪器”(Intelligent Components and Instruments)(TC25)(C&I)为其系列学术委员会之一。此外,1989年5月在我国武汉召开了第一届测试技术与智能仪器国际学术讨论会(ISMT II'89)。以后,在国内外的学术会议上,以智能仪器为内容的研讨已层出不穷。

自从1971年世界上出现了第一种微处理器(美国Intel公司4004型4位微处理器芯片)以来,微计算机技术得到了迅猛的发展。测量仪器在它的影响下有了新的活力,取得了新的进步。电子计算机从过去的庞然大物已经可以缩小到可以置于测量仪器之中,作为仪器的控制器、存储器及运算器,并使其具有智能的作用。概括起来说,智能仪器在测量过程自动化、测量结果的数据处理及一机多用(多功能化)等方面已取得巨大的进展。到了90年代,可以说,在高准确度、高性能、多功能的测量仪器中已经很少有不采用微计算机技术的了。总的来说,可以从对传统仪器的改进和新型仪器的出现两个方面来归纳智能仪器的发展概况。

传统的手持式万用表,在采用了单片微机控制之后,功能更加多样,使用更加方便、可靠,而且准确度大为提高。如读数为4½位的万用表,除可测量传统的直流电压、电流及电阻外,可测量交流电压及电流的真有效值;测频率时,范围可扩展到10Hz~1MHz;测温度时,范围可扩展到-60~200℃;也可测量电容及电感;还可进行电平(分贝值)测量和实现自动量程切换;有极性显示及输入过载保护等自动化功能;可对测量结果做简单的误差计算。有的万用表还可在数字显示器下面外加光条显示器,以提高对被测信号波动变化倾向的判断能力。如今又有了示波表,可以在万用表中

进行数据运算并显示曲线及有关参数，具有示波器的功能。

到 80 年代初期，高性能的数字万用表，读数已达 $7\frac{1}{2}$ ~ $8\frac{1}{2}$ 位，其分辨率，直流电压可达 $0.01\mu\text{V}$ ，交流电压可达 $0.1\mu\text{V}$ 。24 小时准确度，直流电压可达 $1\sim 2\text{ppm}$ (ppm 为百万分之一)，交流电压可达 $\pm 0.01\%$ (真有效值响应)。频率覆盖可从音频 (20kHz) 至甚低频 (1Hz)，波形因数 (峰值/有效值) 可达 5:1。其数据处理功能一般包括百分误差、绝对误差、最大值及最小值、峰-峰值、平均值、有效值、方差及标准差等。有的仪器可以在数日内进行采样时间间隔可调的自动跟踪测量及自动存数等。在内置微计算机的作用下，高性能数字万用表还采用了不开盖式的自动校准技术 (Closed-Case Autocal)，使仪器的准确度及稳定度进一步提高。与之相适应，80 年代初期出现了可携式精密数字万用表、可编程校准仪。它允许在一般的实验室环境下实现对 $6\frac{1}{2}$ ~ $8\frac{1}{2}$ 数字多用表进行不开盖的可程制的自动化数字校准。这种校准仪不仅工作简便、速度快，而且可以在较高温度范围内 (如 $12\sim 33^\circ\text{C}$) 工作。这就缓解了高准确度数字多用表需定期频繁送检的矛盾，提高了仪器的使用率及可靠性。这些把计量学准确度带入普通实验室的仪器，可以说已经取得了了不起的成绩。

在磁测量仪器方面，采用微机的精密测磁装置已经可以实现对磁性材料的智能化测量。这种装置为一机多用，可实现对硬磁、软磁及交流磁性的测量，在一个装置上可以满足大多数磁性参数及品种的要求。装置采用积木式结构以适应不同用户的要求。由于很好地发挥了微机的软件处理及控制功能，并利用了外存储及外设的能力，因而此新型的测磁装置测量准确度高、数据处理能力强、量程宽、自动化程度高、操作简便、可自动绘图及打印测试结果。以上这些智能化作用克服了磁测量中的大量手工操作，不仅提高了效率，而且使测试结果摆脱了人为的主观因素，重复性好、可靠性高。

智能仪器除了在传统仪器的改进方面取得了巨大的成就而外，还开辟了许多新的应用领域，出现了许多新型的仪器。80 年代以来，机械制造业 (汽车制造、VLSI 制造、各种电子设备，如电子计算机、电视机等) 的高速发展，使 CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造) 达到很高水平，它对人类生产力的提高起着巨大的推动作用。为了对 CAM 的工作质量进行及时监督，使成品或半成品的质量得到保证，要求实现对整个加工工艺过程中各重要环节或工位的在线检测。因此在生产线上或检验室内大量涌现应用各种 CAT (Computer Aided Test, 计算机辅助测试) 技术的仪器。例如，在电子类产品生产中使用大量各种规格的印刷电路板 (PCB, Printed Circuit Board)，因而出现了各种 PCBCAT 设备 (PCBT)。如果没有高速、高效能的 PCBT，就不能实现对空 PCB 或已装元件的 PCB 进行逐项检验及质量监督，不能实现电子设备生产上的高速及高质量的 CAM。

智能仪器以及计算机系统本身的发展使得其硬件结构及软件内涵越来越复杂，随之而来的是对其工作状态的检验及故障诊断就显得非常重要，而且十分困难。如果都依靠专业人员去解决这些问题，不仅耗费时间，而且对大量、多品种、更新很快的产品，这样做也是不大可能的。为了解决此类问题，出现了一种新型仪器故障诊断仪 (Troubleshooter)。面向以计算机为主体的数字系统 (或智能仪器) 的故障诊断仪本身就是一台微计算机。它一般是通过特定的 (如与被检验系统的 CPU 相一致的) 适配器与被检验系统相联，在专用软件包的支持下进行故障诊断。它不仅可发现故障的性质及范围，有时还可精确地定位到故障元件。

由于微计算机的内存容量的不断增加，工作速度的不断提高，因而使其数据处理的能力有了极大的改善，这样就可把动态信号分析技术引入智能仪器之中。这些信号分析往往以数字滤波或 FFT（快速傅里叶变换）为主体，配之以各种不同的分析软件，如智能化的医学诊断及机器故障诊断仪等。这类仪器的进一步发展就是测试诊断专家系统，其社会效益及经济效益都是十分巨大的。

近 20 年来，智能仪器与微计算机取得令人瞩目的进展，就其技术背景而言，硬件的不断发展及创新不能不说是一个非常重要的因素。就仪器仪表的发展看，对以下几类硬件的发展应特别加以关注。

一、微计算机芯片

微计算机芯片（单片机）为智能仪器的核心，它的选择将决定仪器的总体结构。所谓单片机一般是指在一块硅片上集成了中央处理器，存储器，多种输入/输出接口（定时器，计数器，并行口，转换器及脉冲调制器）等。这样一块芯片具有一台计算机的功能，因而称之为单片微计算机。由于单片机的硬件结构与指令系统的功能都是按工业控制要求而设计并常用于工业检测及控制，因而也称之为微控制器（Micro-Controller）。

自 1974 年美国仙童（Fair child）公司推出第一台 8 位单片机（F8）以来，它们在工业控制，科学研究，军工企业，家用电器等方面得到了广泛的应用，从而推动了单片机的迅猛发展。曾经历过 1 位机，4 位机，8 位机，16 位机，32 位机等的发展过程。但经过多年的市场竞争及筛选，如今我国在上述领域中应用最多的是美国 Intel 公司的 8 位 MCS-51 系列单片机。MCS-51 系列单片机有三种基本型号：8031，8051 及 8751。它们的管脚及指令系统完全兼容，只是在结构及特性方面有一些差异。其中 8031 是目前应用最多的。

8031 内含一个 8 位的 CPU，128 个字节的 RAM，21 个特殊功能寄存器（SFR），4 个 8 位并行 I/O 口，1 个双工串行口，2 个 16 位的定时器/计数器，但程序寄存器需用外扩 EPROM 芯片。8751 是在 8031 的基础上，片内集成了 4K 字节的 EPROM，构成了一个程序小于 4K 的小系统。用户可以将程序固化于 EPROM 之中并可进行修改。8031 外扩一片 4K EPROM 就相当于 8751，其最大优点是价格便宜，使用方便。8051 是在 8031 基础上，片内集成 4K ROM 作为程序存储器。这些程序是为用户特定制作的，它是一种特殊用途（如用于家电）的单片机。随着 VLSI 的发展 Intel 公司在 MCS-51 系列中又推出多种增强型芯片，如：

(1) 8032/8052/8752：它们是 8031/8051/8751 的扩展型，内存增到 256 字节，8752/8052 片内的程序存储器容量增到 8K 字节，有 3 个 16 位的定时器/计数器，有 6 个中断源。

(2) 低功耗的 CHMOS 工艺芯片 80C 31BH/87C 51/80C 51BH：这种芯片允许电流波动范围较大，为 $(5 \pm 20)\%$ ，并有两种掉电工作方式，一种掉电工作方式是仅 CPU 停止工作，其他部分仍继续工作；另一种掉电工作方式是除片内 RAM 继续保持数据外，其他部分均停止工作。此类单片机的功耗低，非常适于电池供电及其他要求低功耗的场合。

(3) 具有高级语言编程的芯片 8052H-BASIC：芯片内固化有 MCSBASIC52 解释程序，软件开发比较方便。可以实现 BCD 码的浮点运算以及 16 进制和 10 进制的转换。

BASIC52 语言可和 MCS-51 汇编语言混合使用。

(4) 高性能的 8XC52 系列：在 8052 的基础上，采用 CMOS 工艺，并将 MCS-96 系列中的一些 I/O 部件如高速输入/输出 (HSI/HSO)，A/D 转换器，脉冲宽度调制 (PWM)，看门狗定时器 (WATCH DOG) 等移植过来构成新一代 MCS-51 产品，如 80C252/87C252/83C252 等。PHILIPS (菲力蒲) 公司的 8XC52 系列也为此类产品。

据估计在今后若干年内 8 位单片机仍将是工业检测与控制中的主流产品。当要求更高的实时运算能力及工作速度时，可以考虑选用 16 位单片机 (如 Intel 公司的 MCS-96 系列单片机)，甚至更快的 32 位单片机。市场竞争是非常激烈的，优胜劣汰，新的机型仍会不断涌现，用户可以根据实际工作的需要，选用合适的单片机为己用。

二、DSP (Digital Signal Processor, 数字信号处理器) 芯片

智能仪器在进行信号处理中常要进行一些如数字滤波、FFT、相关、卷积等复杂的运算，其共同特点为它们都是由迭代式的乘加运算所组成。如果用微机的软件来完成，则运算时间较长，使仪器工作速度降低。如今 VLSI 已可制成 DSP 芯片专门从事这些运算。在我国已广泛采用美国 TI (Texas Instrument) 仪器公司生产的 TMS320 系列 DSP (NMOS 或 CMOS 器件)。它由乘法器、32 位累加器及 32 位算术逻辑单元等组成，钟频在 5MHz 以上，做一次 16 位乘法仅需 200ns。我国有关单位已用它开发成功用于微机上的插件模板，用它对 1024 点 FFT 复数运算时间可为 45ms。美国公司的 AMD29500 16 位双极型 DSP 同样完成上述运算仅需 2ms。

三、ASIC (Application Specific IC, 专用集成电路) 芯片

长期以来 IC 芯片都是通用的，如微机芯片、各种存储器、各种逻辑元件、各种 D/A 转换器及 D/A 转换器等。用户只能根据手头拥有的芯片的功能去设计自己的产品。这是由生产水平所决定的，因为只有大量生产的芯片，其成本才可以降低，才会有好的经济效益。而由用户订制的 ASIC，则由于成本太高而很难得到推广。近年来，由于 LSI 生产工艺的成熟，CAD 技术的进步，加之许多业已成熟的 IC 芯片如微机芯片，存储器、D/A 转换器等都可能用来充当 ASIC 的基础，使 ASIC 的经济效益日益提高，因此 ASIC 在 VLSI 市场上的竞争已日趋激烈。有人预计今后将是 ASIC 的年代，IC 市场将在很大程度上属于那些能够廉价而且迅速为用户提供定制 ASIC 的公司。这种局面一旦形成，将使电子产品 (包括智能仪器) 的结构更加紧凑，性能更加良好，保密性更强。

综上所述，几十年来智能仪器虽然有了很大的发展，但总的看来，人们最初还是较习惯于从硬件的角度做工作，这是由于一些设计者的 (硬件) 技术背景，以及 LSI 器件不断迅速更新等因素所造成的。但到了 90 年代以后，情况就有了很大的变化。从智能仪器的内涵上看，软件所发挥的作用将越来越大，这里有许多的领域等待着去开发。这在下面有关虚拟仪器的介绍中就可看出。

1.2 智能仪器的特点

一个内藏微计算机的智能仪器意味着计算机技术与测量仪器的结合，它所具有的软

件功能已使仪器呈现出某种智能的作用。它相对于过去传统的、纯硬件的仪器来说是一种新的突破，其发展潜力十分巨大，这已为多年来智能仪器发展的历史所证实。概括起来，智能仪器具有以下特点：

一、测量过程的软件控制

测量过程的软件控制源起于数字化仪器测量过程的时序控制。60年代末，数字化仪器的自动化程度已经很高，如可实现自稳零放大、自动极性判断、自动量程切换、自动报警、过载保护、非线性补偿、多功能测试、数百点巡回检测等等。但随着上述功能的增加，使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，给其进一步的发展造成很大困难。但当引入微计算机技术，使测量过程改用软件控制之后，上述困难即得到很好的解决，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，如实现简单人机对话、自检、自诊、自校准以及CRT显示及输出打印和制图等等。这就是人们常说的“以软（件）代硬（件）”的效果。

在进行软件控制时，仪器在CPU的指挥下，按照软件流程不断取指（令）、寻（地）址，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，基本操作为以软件形式完成的逻辑转换，它与硬件的工作方式有很大的区别。操作中的每个步骤往往由若干指令组成，每条指令都需要有一定的执行时间，尽管很短，但较之硬件就慢得多。如对一个数求反，在组合逻辑上转换的时间就极短，可认为是瞬间完成，而在软件操作上，它就需经从存储器中取数，求反并送回存储器等几个步骤，其执行时间一般都是微秒级的。软件转换带来很大的方便，而且灵活性很强，当需改变功能时，只改变程序即可，并不需要改变硬件结构。因此，灵活性强，但工作速度相对硬件逻辑较慢，这是软件控制的特点。这一特点，使它在一些要求速度很高的地方，如实时处理或实时控制等方面的应用受到一定限制。

二、数据处理

对测量数据进行存储及运算的数据处理功能是智能仪器最突出的特点，它主要表现在改善测量的精确度及对测量结果的再加工两个方面。

在提高测量精确度方面，大量的工作是对随机误差及系统误差进行处理。过去传统的方法是用手工的方法对测量结果进行事后处理，不仅工作量大，效率低，而且往往会受到一些主观因素的影响，使处理的结果不理想。在智能仪器中采用软件对测量结果进行及时的、在线的处理可收到很好的效果，不仅方便、快速，而且可以避免主观因素的影响，使测量的精确度及处理结果的质量都大为提高。由于可以实现各种算法，不仅可实现各种误差的计算及补偿，而且使在线测量仪器中常遇到的诸如非线性校准等问题也易于解决。

对测量结果的再加工，可使智能仪器提供更多高质量的信息量。例如，一些信号分析仪器在微计算机的控制下，不仅可以实时采集信号的实际波形，在CRT上复现，并可在时间轴上进行展开或压缩，还可对所采集的样本进行数字滤波，将淹没于干扰中的信号提取出来；也可对样本进行时域的（如相关分析、卷积、反卷积，传递函数等）或频域的（如幅值谱、相位谱、功率谱等）分析。这样就可以从原有的测量结果中提取更

多的信息量。这类智能仪器在生物医疗、语音分析、模式识别和故障诊断等各个方面都有广泛的应用。

三、多功能化

智能仪器的测量过程、软件控制及数据处理功能使一机多用的多功能化易于实现，成为这类仪器的又一特点。例如，用于电力系统电能管理的一种智能化电力需求分析仪可以测量单相或三相电源的有功功率、无功功率、视在功率、电能、频率、各相电压、电流、功率因数等，还可测量出电能利用的峰值、峰时、谷值、谷时及各项超界时间，可以预置用电量需求计划、自备时钟及日历，具有自动记录、打印、报警及控制等许多功能。这样多的功能如果不用微机控制，在一台仪器中是不能实现的。

1.3 智能仪器的基本结构

从智能仪器发展的状况来看，其结构可有两种基本类型，即微机内置式及微机扩展式。微机内置式为将单片或多片的微机芯片与仪器有机地结合在一起形成的单机。微机在其中起控制及数据处理作用，其特点主要是专用或多功能；小型化、便携或手持式干电池供电；易于密封，适应恶劣环境，成本较低。目前在工业控制、科学研究、军工企业、家用电器等方面广为应用。图 1-1 为其结构图。

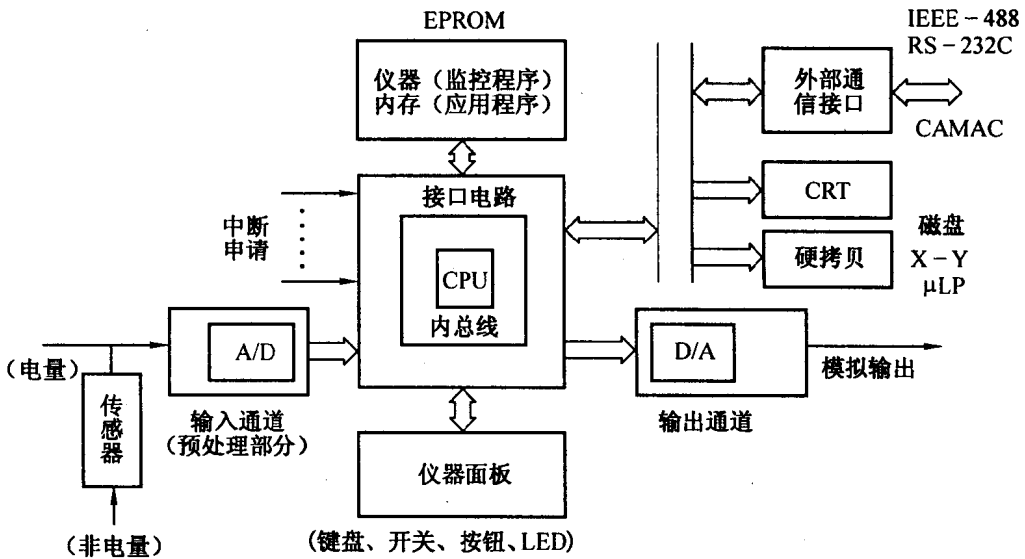


图 1-1 智能仪器的结构图

CPU 为仪器的核心，它通过总线及接口电路与输入通道、输出通道、仪器面板及仪器内存相连。EPROM 及 RAM 组成的仪器内存可保存仪器所用的监控程序、应用程序及数据区。中断申请可使仪器能够灵活反应外部事件。仪器的输入信号要经过输入通道（预处理部分）才可以进入微机。输入通道包括输入放大器、抗混叠滤波器、多路转换器、采样/保持器、A/D 转换器、三态缓冲器等各部分。输入通道往往是决定仪器测量准确度的关键部位。在仪器的输出部分，如果要求模拟输出，则需经过输出通道，它

包括 D/A 转换器、多路分配器、采样/保持器、低通滤波器等部分。仪器的数字输出可与 CRT 屏幕显示器相接，也可与磁盘、光盘、X-Y 绘图仪或打印机相接，以获得硬拷贝。外部通信接口沟通本仪器与外系统的联系。

微机扩展式为以个人计算机 (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 80 年代起就开始有人给 PC 机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)。PCI 的优点为使用灵活、应用范围广泛，可以方便地利用 PC 已有的磁盘、打印机及绘图仪等获取硬拷贝。更重要的是 PC 的数据处理功能强，内存容量远大于内置式微机仪器，因而 PCI 可以用于复杂的、高性能的信息处理。此外，还可以利用 PC 机本身已有的各种软件包，获得很大的方便。如果将仪器的面板及各种操作按钮的图形生成在 CRT 上就可得到“软面板”。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。

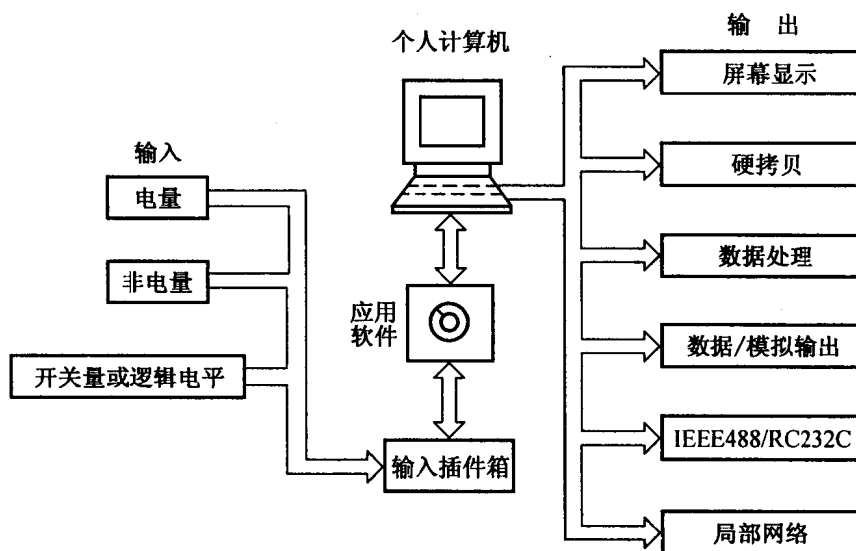


图 1-2 个人计算机仪器 (PCI) 的结构图

与 PCI 相配的模拟通道有两种类型。一种是插件式，即将所配用的模拟量输入通道以印刷板的插板形式直接插入 PC 机箱内的空槽中，此法最方便。但空槽有限，很难有大的作为，因而发展了插件箱式。此法为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。有人设想，随着硬件的完善，标准化插件不断增多，如果能够实现硬件的模块（积木）化组合，则组成 PCI 的硬件工作量有可能减小，从虚拟仪器的角度来看，不同的测量仪器，其区别将只在于应用软件的不同。

1.4 虚拟仪器

虚拟仪器 (Virtual Instrument) 的设想早在 70 年代就有了，但真正得以实现只是在 PCI 之后才有了可能。一个以 PC 机为基础的仪器，由于软件的不同可以作成不同功

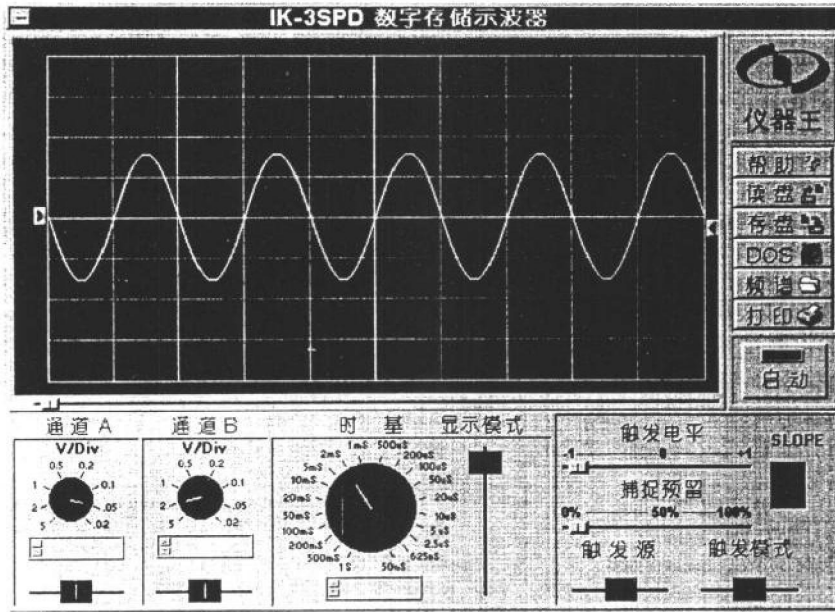


图 1-3 智能仪器的软面板

能的测量仪器, 因而其控制面板已不可能仅采用一种固定的硬件模式, 而只能用软面板去适应不同的仪器的要求。这种灵活多样的虚拟仪器技术可以使用户突破传统仪器由厂家制造, 而用户自己无法改变仪器既定功能的约束。用户可以根据自己的需要去设计或组合自己的专用仪器 (或系统), 以得到从传统仪器中无法比拟的效果。这在仪器设计中确实是一种新的突破。有人提出未来的仪器可能为以下的模式。

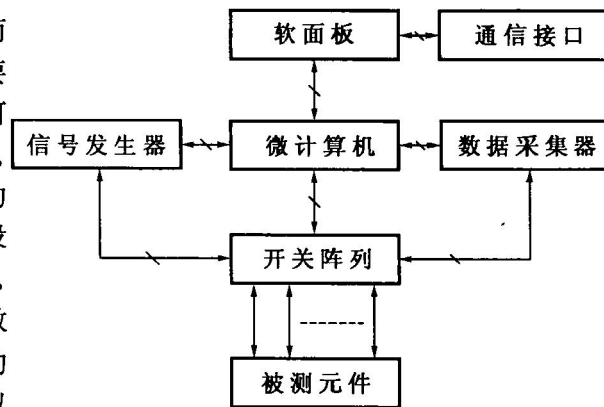


图 1-4 未来的仪器的一种模式

在图 1-4 中, 被测量可分为有源及无源两类, 对于有源量可以直接通过开关阵列经数据采集器 (DAS) 进入计算机内核, 而无源元件需先经过激励源 (多功能信号发生器) 对其激发之后, 将其响应再经开关阵列及 DAS 进入计算机内核。软面板是仪器的控制及运算、处理结果的显示器。联网是通信接口中重要的选件, 经过它可以使本仪器与其他计算机系统或 Internet 相联, 进行广泛的信息交换。所以, 就总体而言未来仪器的硬件平台可能主要由开关阵列、数据采集系统、激励器、计算机及软面板所组成。随着硬件技术的发展, 这几部分将日趋完善, 将逐渐模块化、标准化, 并在形式上趋于一致。但所使用的软件却会日新月异, 使仪器的功能更加多样化, 水平更高, 人机界面更加友好及完善。软件将逐渐成为仪器的灵魂, 所以就有人提出“软件就是仪器”的虚拟仪器的概念, 以此与“网络就是计算