

高等学校适用教材

智能仪器原理与设计

朱欣华 姚天忠 邹丽新 /编著



中国计量出版社

高等学校适用教材

智能仪器原理与设计

朱欣华 姚天忠 邹丽新 编著

中国计量出版社

图书在版编目(CIP)数据

智能仪器原理与设计/朱欣华等编著. —北京: 中国计量出版社, 2002.12
高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1690-X

I. 智… II. 朱… III. 智能仪器—高等学校—教材 IV. TP23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 080541 号

内 容 提 要

本书全面阐述智能仪器的原理及设计技术。全书共八章: 概述; 智能仪器中数字量的输入、输出; 智能仪器中模拟量的输入、输出; 智能仪器的人机对话通道; 智能技术; 智能仪器中的通信技术; 智能仪器的抗干扰技术; 智能仪器的系统设计。每章都附有思考题。

本书为高等学校测控技术与仪器专业教材, 也可作为仪器科学与技术学科研究生及相关专业研究生和本科生的教学参考书, 同时还可供仪器仪表行业的科研人员和工程技术人员阅读参考。

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

电话 (010)64275360

E-mail jlfxb@263.net.cn

北京市迪鑫印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

*

787 mm×1092 mm 16 开本 印张 13.75 字数 326 千字

2002 年 12 月第 1 版 2002 年 12 月第 1 次印刷

*

印数 1—4 000 定价:21.00 元

前 言

自 20 世纪 70 年代初产生了世界上第一个微处理器芯片以来,微型计算机的发展异常迅速,使用领域越来越广泛。作为微型计算机渗透到仪器科学与技术领域并得到充分应用的结果,出现了完全突破传统概念的新一代仪器——智能仪器,从而开创了仪器仪表的一个崭新的时代。

在内含微处理器的“智能仪器”的概念提出之后,出现了不少相关的著作、教材等。但是,由于与智能仪器设计相关的各项技术发展非常迅速,因此,新编一本“智能仪器”方面的教材,使之既保持早期著作、教材体系结构的基本框架,又增加一些与新技术紧密相关的有关章节;既介绍理论知识,又反映科研实践体会;既讲透基本理论、基本技术,又反映新技术、新手段,这已显得十分必要和迫切。

从教育部高教司 1998 年颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》中可看出,学习“测控仪器的设计方法”是“测控技术与仪器”专业学生的业务培养要求之一。专业结构的调整,使目前设有测控技术与仪器专业的高校已近百所,其中大部分专业开设“智能仪器”课程。在全国仪器仪表类专业教学指导委员会及中国计量出版社的支持下,作者编著了本教材。本书是东南大学百年校庆规划的面向 21 世纪、体现东南大学教学改革成果的教材之一。

全书共分八章。第一章概述,主要介绍智能仪器的结构与特点、智能仪器的发展和智能仪器实例简介;第二章智能仪器中数字量的输入、输出,主要介绍开关量输入、输出和脉冲量输入、输出;第三章智能仪器中模拟量的输入、输出,主要介绍信号调理、模/数转换器、采样保持器和模拟多路开关、数据采集系统的配置方案和数/模转换器,这些内容是本教材的重点和难点;第四章智能仪器的人机对话通道,主要介绍键盘、LED 显示器、LCD 显示器、打印机接口和数字语音提示接口;第五章智能技术,主要介绍标度变换、非线性校正、自动测量补偿和数字滤波技术,它们是智能技术的典型功能;第六章智能仪器中的通信技术,主要介绍数据通信基础、串行通信几种常用的总线标准及应用、智能仪器中数据的并行通信和现场总线技术;第七章智能仪器的抗干扰技术,主要介绍概述、数字量输入、输出通道的电气隔离、模拟量输入、输出通道的电气隔离、电源干扰及抑制和数字系统的干扰和抑制;第八章智能仪器的系统设计,主要介绍智能仪器中微机系统的构成方式、智能仪器监控程序设计、智能仪器的研制步骤及设计准则和智能仪器设计实例。为便于组织教学,每章都附有思考题。

全书由东南大学朱欣华副教授、苏州大学姚天忠教授和邹丽新副教授编写。朱欣华编写了第一章的 1.1, 1.2 节,第三章,第五章的 5.1, 5.2, 5.3 节,第六章,第七章的 7.1,

7.2, 7.3, 7.4 节, 第八章的 8.1 节。其余章节由姚天忠和邹丽新编写。全书由朱欣华统稿。

本书编写过程中得到了东南大学教务处和仪器科学与工程系有关领导和工作人员的关心和支持, 中国计量出版社的徐焱编辑为本书的出版做了大量的工作, 在本书编写过程中参阅了许多有关的著作和文献, 在此一并致谢。

由于与智能仪器相关的技术发展迅速, 加之编者专业知识所限, 书中疏误之处一定不少, 敬请同仁和读者批评指正。

编 者
2002.12

目 录

1 概 述	(1)
1.1 智能仪器的结构与特点	(1)
1.1.1 智能仪器的结构	(1)
1.1.2 智能仪器的特点	(2)
1.2 智能仪器的发展	(3)
1.2.1 信号检测与处理技术正在推动智能仪器的发展	(3)
1.2.2 数据域测试仪器的兴起	(4)
1.2.3 总线制仪器向个人仪器发展	(4)
1.2.4 虚拟仪器的出现和快速发展	(5)
1.2.5 ASIC、FPGA/CPLD 技术在智能仪器中的广泛使用	(6)
1.2.6 仪器的网络化测试技术受到广泛关注	(8)
1.2.7 其他	(8)
1.3 智能仪器实例简介	(9)
1.3.1 IC 卡煤气表	(9)
1.3.2 多点分布式尘埃粒子计数控制与测试系统	(10)
思考题	(10)
2 智能仪器中数字量的输入、输出	(11)
2.1 开关量输入、输出	(11)
2.1.1 开关量输入	(11)
2.1.2 开关量输出	(12)
2.2 脉冲量输入、输出	(16)
2.2.1 常用的数字化测频方法	(17)
2.2.2 脉冲宽度调制 (PWM)	(20)
思考题	(21)
3 智能仪器中模拟量的输入、输出	(23)
3.1 信号调理	(23)
3.1.1 信号放大	(23)
3.1.2 信号滤波	(25)
3.2 模/数转换器	(26)
3.2.1 概述	(26)
3.2.2 常用 ADC 集成芯片及其与智能仪器中微处理器的接口	(33)
3.3 采样保持器和模拟多路开关	(40)
3.3.1 采样保持器	(40)

3.3.2 模拟多路开关	(42)
3.4 数据采集系统的配置方案	(45)
3.4.1 多路数据采集系统常见的几种配置方案	(45)
3.4.2 采用数据采集芯片	(45)
3.5 数/模转换器	(48)
3.5.1 概述	(48)
3.5.2 DAC 集成芯片系列及其与微处理器的接口	(53)
思考题	(61)
4 智能仪器的人机对话通道	(63)
4.1 键盘	(63)
4.1.1 按键抖动的消除	(63)
4.1.2 独立式键盘和矩阵式键盘	(64)
4.1.3 键盘信号的获取	(65)
4.1.4 键盘接口设计	(66)
4.2 LED 显示器	(67)
4.2.1 LED 显示器的基本结构和工作原理	(67)
4.2.2 七段 LED 数码显示器接口设计实例	(69)
4.2.3 点阵 LED 字符显示器接口	(73)
4.3 LCD 显示器	(76)
4.3.1 LCD 的驱动方式	(76)
4.3.2 LCD 显示组件的应用	(78)
4.4 打印机接口	(83)
4.4.1 TP μ P-T 微型点阵式打印机	(83)
4.4.2 8031 与 TP μ P-T 的接口	(84)
4.5 数字语音提示接口	(85)
4.5.1 SR9F26 语音处理电路的主要功能和特点	(85)
4.5.2 SR9F26 的引脚功能	(87)
4.5.3 8031 与 SR9F26 的接口设计	(88)
思考题	(89)
5 智能技术	(91)
5.1 标度变换	(91)
5.1.1 标度变换的原理	(91)
5.1.2 非线性参数的标度变换	(92)
5.2 非线性校正	(92)
5.2.1 校正函数法	(93)
5.2.2 代数插值法	(94)
5.2.3 曲线拟合法	(97)
5.3 自动测量补偿	(101)
5.3.1 零位补偿 (自校零技术)	(101)

5.3.2 零漂的补偿	(102)
5.3.3 标度漂移补偿	(103)
5.3.4 传感器的温度补偿	(105)
5.4 数字滤波技术	(106)
5.4.1 程序判别法 (限幅滤波法)	(106)
5.4.2 莱特准则法 (剔除粗大误差)	(107)
5.4.3 中值滤波法	(107)
5.4.4 算术平均滤波法	(108)
5.4.5 去极值平均滤波法	(109)
5.4.6 滑动平均滤波法	(110)
5.4.7 加权滑动平均滤波	(111)
思考题	(112)
6 智能仪器中的通信技术	(113)
6.1 数据通信基础	(113)
6.1.1 数据通信的基础知识	(113)
6.1.2 差错控制技术	(116)
6.1.3 通信规程与同步技术	(118)
6.2 串行通信几种常用的总线标准及应用	(119)
6.2.1 RS-232 标准及应用	(119)
6.2.2 RS-422 标准及应用	(125)
6.2.3 RS-422 标准应用举例——主从式多机通信	(126)
6.3 智能仪器中数据的并行通信	(128)
6.3.1 通过并行接口实现 CPU 间数据的并行通信	(128)
6.3.2 通过双口 RAM 实现 CPU 间数据并行通信的技术 (之一)	(132)
6.3.3 通过双口 RAM 实现 CPU 间数据并行通信的技术 (之二)	(137)
6.4 现场总线技术	(141)
6.4.1 现场总线系统的技术特点及优越性	(142)
6.4.2 现场总线网络通信协议模型及特点	(143)
6.4.3 现场总线测控网络 CANbus 简介	(145)
思考题	(147)
7 智能仪器的抗干扰技术	(148)
7.1 概述	(148)
7.1.1 干扰的定义和分类	(148)
7.1.2 干扰的传播途径	(150)
7.1.3 抗干扰的基本思路	(152)
7.2 数字量输入、输出通道的电气隔离	(152)
7.2.1 光电耦合器的特性及应用	(152)
7.2.2 电磁式继电器的特性及应用	(155)
7.2.3 固态继电器的原理、特性及应用	(156)

7.3 模拟量输入、输出通道的电气隔离	(159)
7.3.1 信号隔离设置在模拟量输入、输出通道的数字部分	(160)
7.3.2 信号隔离设置在模拟输入的入口处	(161)
7.4 电源干扰及抑制	(164)
7.4.1 电源干扰	(164)
7.4.2 电源干扰的抑制	(164)
7.5 数字系统的干扰和抑制	(168)
7.5.1 数字电路中瞬态尖峰电流的抑制	(168)
7.5.2 微处理器监控定时器、电源监控电路和微处理器监控电路	(169)
思考题	(176)
8 智能仪器的系统设计	(178)
8.1 智能仪器中微机系统的构成方式	(178)
8.1.1 采用单片机构成智能仪器中的微机系统	(178)
8.1.2 采用 PC/104 嵌入式工业 PC 机构成智能仪器中的微机系统	(181)
8.2 智能仪器监控程序设计	(186)
8.2.1 概述	(186)
8.2.2 直接分析法设计键盘管理程序	(186)
8.3 智能仪器的研制步骤及设计准则	(191)
8.3.1 智能仪器的研制步骤	(191)
8.3.2 智能仪器的设计准则	(197)
8.4 智能仪器设计实例	(198)
8.4.1 尘埃粒子计数器的设计原理及设计要求	(198)
8.4.2 尘埃粒子计数器的组成和工作原理	(199)
思考题	(207)
参考文献	(208)

1 概 述

微电子技术的发展,使 20 世纪 70 年代初出现了世界上第一个微处理器芯片。由于由微处理器芯片所构成的微型计算机不仅具有计算机通常具有的运算、判断、记忆、控制等功能,而且还具有功耗低、体积小、可靠性高、价格低廉等优点,因此,微型计算机的发展异常迅速。随着微型计算机性能的日益强大,其使用领域也越来越广泛。目前,微型计算机在工业、农业、国防、企业管理、日常生活等领域得到了广泛的应用。作为微型计算机渗透到仪器科学与技术领域并得到充分应用的结果,在该领域出现了完全突破传统概念的新一代仪器——智能仪器,从而开创了仪器仪表的一个崭新的时代。

仪器仪表的发展可以简单地划分为三代。第一代指针式仪器仪表,如指针式万用表、功率表等。它们的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。第二代为数字式仪器仪表,如数字电压表、数字功率计、数字频率计等。它们的基本结构中离不开模/数转换环节,并以数字方式显示或打印测量结果。第二代仪表响应速度较快,测量准确度较高。第三代就是本书要讨论的智能式仪器仪表(下文中常将之简称为智能仪器),这类仪器仪表的主要特征是内含微处理器,因此,通常具有信息采集,数据处理,输出控制及测试过程和测试结果显示、记录、传输自动进行等功能。有的智能仪器还能辅助专家进行推理、分析或决策。

1.1 智能仪器的结构与特点

1.1.1 智能仪器的结构

如前所述,智能仪器的核心是微处理器,图 1.1 给出了总线制(或称微机内藏式)智能仪器的结构。由图可见,智能仪器具有计算机的结构,即具有组成微机系统所包含的基本部分:微处理器、ROM、RAM、键盘、显示器等。但是,与一般微机系统相比,智能仪器还具有相应的特殊部分:模拟量输入、输出,数字量输入、输出,标准的串行或并行通信接口等。另外,智能仪器的键盘、显示器等亦会根据仪器功能、用途的不同而有别于通用计算机的键盘、显示器等。

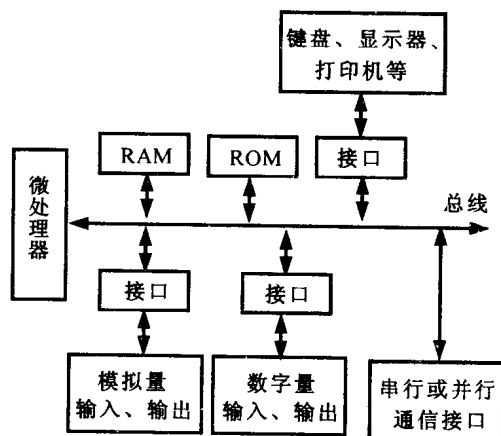


图 1.1 总线制智能仪器结构

1.1.2 智能仪器的特点

仪器引入微处理器后产生的智能仪器具有下述几个特点。

1.1.2.1 仪器功能丰富、性价比高

微处理器的引入使智能仪器的功能较传统仪器有了极大的提高,许多原来用硬件电路难以解决或根本无法解决的问题,在智能仪器中可以得到较好的解决。这主要是因为智能仪器中可以采用软件技术。例如,传统的数字多用表只能测量交直流电流、电压及电阻等。但内含微处理器的智能数字多用表还能测量百分率偏移、比例、极值、平均值、方差、均方差、均方根等,甚至在外加传感器后还能测量温度、压力等非电量。另外,智能仪器可通过数字滤波、非线性校正、系统误差修正等智能技术来修正和克服由智能仪器的传感器、变换器、放大器等引入的误差和干扰,从而提高仪器的精度和其他性能指标。也就是说,在智能仪器中可用软件方法克服硬件本身的缺陷或弱点,从而提高仪器的性能价格比。

1.1.2.2 智能仪器具有自校准、自检和自诊断功能

仪器投入现场运行前,一般需进行零位和标度因子的校准。但是,仪器使用中,其本身的温度及所处的环境条件会发生变化,因此,已校好的零位和标度因子也会发生变化(即产生漂移)。由于智能仪器内含微处理器,因此,在增加简单的相关硬件后,智能仪器不仅可以实现零位和标度因子的校准,而且还能实现零位漂移和标度因子漂移的校准。另外,在智能仪器运行过程中,通过软件和硬件的配合,可以判断仪器工作是否正常,如果仪器发生故障,可以自检出来,同时,还可提示用户仪器故障点在何处,即仪器具有自诊断功能。

1.1.2.3 智能仪器能实现复杂的运算和控制功能

微处理器的运算速度越来越快,运算能力越来越强,这就使智能仪器不仅能实现诸如PID这样的经典算法,而且还能实现诸如最优控制和最佳滤波等现代算法。例如,惯性导航中出现的捷联式系统,其本质就是用由计算机通过计算得到的数学平台来代替平台式系统中结构复杂、体积庞大的机械平台。从而使捷联式惯性导航系统具有可靠性高、体积小、重量轻、功耗低、维修方便、价格较低等一系列优点。

1.1.2.4 智能仪器的人机对话能力强

由于智能仪器用键盘代替传统仪器的开关、旋钮等,因此,输入功能强,操作简单、灵活。由于智能仪器可根据需要采用LED、LCD、CRT等方式显示测量结果,因此,显示清晰、直观、快速。另外,随着计算机技术的发展,目前有些智能仪器还可选择通过键盘(或鼠标)和CRT显示器以窗口方式实现人机对话的方案。

1.1.2.5 单个仪器自动化水平高,多个仪器可构成自动测试系统

包括键盘扫描,数据采集,信息传输及处理和测量结果显示及记录等环节的单个智能仪器的整个测量过程均可在微机控制下按序进行,因此单个智能仪器的自动化水平较高。另

外, 由于智能仪器通常均带有通信接口, 因此可根据需要选用不同的单个智能仪器, 通过其各自的通信接口组成一个自动测试系统而完成不同的测试任务。

在分析了智能仪器的结构和特点的基础上可以对智能仪器的概念作一简单的概括: 所谓智能仪器, 一般地, 可以理解为以微处理器为基础, 并充分利用现代科技成果而设计制造出来的具有上述特点的一代新型仪器, 仪器的功能可替代或延伸一部分脑力劳动。

1.2 智能仪器的发展

一般地, 公认的智能是指一种能随外界变化的条件, 确定正确行动的能力; 也就是说, 智能化应包括理解、推理、判断、分析等一系列功能。而目前的智能仪器尽管已普遍具有自动补偿、自动校准、自寻故障、自动检测等较高的自动化水平和较强的运算能力及一定的分析判断能力, 但用上述智能及智能化的概念来衡量还有相当的距离^[1]。不过, 随着科学技术的进步, 智能仪器的发展将会越来越快, 其具有的智能水平也会越来越高。下面讨论与智能仪器发展相关的几个主要方面。

1.2.1 信号检测与处理技术正在推动智能仪器的发展

1.2.1.1 信号检测技术飞速发展

信号检测是通过传感器实现的, 为适应智能仪器发展的需要, 各种新型传感器不断涌现。作为现代信息技术三大核心技术之一的传感器技术, 从诞生到现在, 已经经历了聋哑传感器 (Dumb Sensor)、智能传感器 (Smart Sensor)、网络化传感器 (Networked Sensor) 的发展历程^[2]。

传统的传感器是模拟仪器仪表或模拟计算机时代的产物。它的设计指导思想是把外部信息转换成模拟电压或电流信号。这类传感器的输出幅值小, 灵敏度低, 而且功能单一, 因而被称为“聋哑传感器”。

随着时代的进步, 传统的传感器已经不能满足现代工农业生产、国防等的需求。20 世纪 70 年代以来, 计算机技术、微电子技术、光电子技术获得了迅猛的发展, 加工工艺逐步成熟, 新型敏感材料不断被开发出来。在高新技术的渗透下, 尤其是计算机硬件和软件技术的渗入, 使微处理器和传感器得以结合, 产生了具有一定数据处理能力, 并能自检、自校、自补偿的新一代传感器——智能传感器。智能传感器的出现是传感技术的一次革命, 对传感器的发展产生了深远的影响。

20 世纪 80 年代以来, 网络通信技术逐步走向成熟并渗透到各行各业, 各种高可靠、低功耗、低成本、微体积的网络接口芯片被开发出来, 微电子机械加工技术的飞速发展给现代加工工艺注入了新的活力, 当网络接口芯片与智能传感器集成起来并使通信协议固化到智能传感器的 ROM 中时, 就产生了网络传感器。网络传感器继承了智能传感器的全部功能, 并且能够和计算机网络进行通信, 因而在现场总线控制系统 (FCS) 中得到了广泛的应用, 成为 FCS 中现场级数字化传感器。

为解决现场总线的多样性问题, IEEE1451.2 工作组建立了智能传感器接口模块 (STIM) 标准, 该标准描述了传感器网络适配器或微处理器之间的硬件和软件接口, 是 IEEE1451 网

络传感器标准的重要组成部分,为使传感器能与各种网络连接提供了条件和方便。

智能传感器和网络化传感器的飞速发展可大大提高信号检测能力,进而推动智能仪器总体性能的提高。

1.2.1.2 DSP 的广泛应用

数字滤波、FFT、相关、卷积等是信号处理的常用方法,其共同特点是,算法的主要运算都是由迭代式的乘和加组成。这些运算如果在通用微机上用软件来完成,则运算时间较长。随着大规模集成电路技术的发展,高速专用单片数字信号处理器(DSP——Digital Signal Processor)已被广泛采用(典型的DSP芯片有TI(Texas Instruments)公司的TMS-320系列等^[3])。由于DSP芯片是通过硬件来完成上述乘法和加法运算的,因此,采用DSP芯片可大大简化具有此类数字信号处理功能的智能仪器的结构并提高其相应的性能,进而推动数字信号处理技术在智能仪器中的广泛应用,极大地增强了智能仪器的信号处理能力。

1.2.2 数据域测试仪器的兴起

微电子技术的发展,推动了各种数字设备、计算机以及大规模与超大规模集成电路的研究与生产,为此,需对二进制数据流进行测试与分析。对这类信息,传统的频域与时域测量技术是无能为力的。20世纪70年代以来,数据域测量分析的概念逐渐形成,从而也兴起了新的仪器——数据域测试仪器^[3]。典型的数据域测试仪器有:数字集成电路测试仪、逻辑分析仪、仿真器、特征信号分析仪等。

1.2.3 总线制仪器向个人仪器发展

从发展的观点来看,以图1.1所示结构组成的智能仪器可以认为是早期的智能仪器。它常被称为总线制仪器,因为采用这种结构的智能仪器,把微处理器放入仪器内部(即微机是内藏的),通过总线和内部接口将图1.1中除微处理器以外的其他部件与微处理器连接起来。

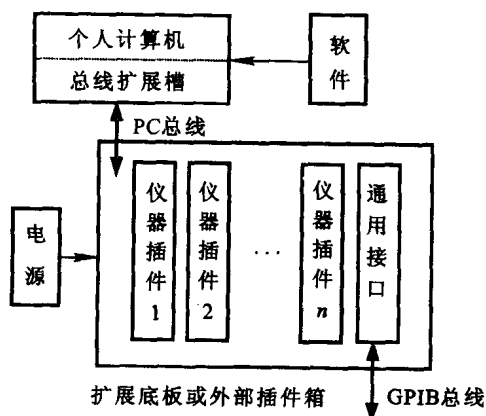


图 1.2 个人仪器结构图

随着个人计算机(PC)的发展和广泛应用,在1982年出现了如图1.2所示的以个人计算机为基础的个人计算机仪器(简称个人仪器——PCI)^[1]。由图可见,个人仪器可看作是个人计算机功能的扩充:它把个人计算机的内部总线引出到扩展底板或外部插件箱上的各个插座,各种测量电路以插件形式通过插座与内部总线相连。

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,与构成功能完全相同的智能仪器相比,没有微处理器、显示器、键盘等部分,即设计相对简便并有各种标准化插件可供选用。因此,在

许多场合,采用个人仪器结构组成的智能仪器要比采用总线制结构组成的智能仪器具有更高的性能价格比,且研制周期短。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完善得多),即使自行开发软件,由于基于PC平台,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 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(而显示和打印的控制软件也是现成的,不用用户操心)。因此,用户使用时十分方便。随着便携式 PC 的出现和广泛使用,各种便携式 PCI 也随之出现,便携式 PCI 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,又能大大提高设备的性价比。因此,个人仪器的概念一经提出,就在测试仪器领域引起了震动,发展迅速,方兴未艾。

1.2.4 虚拟仪器的出现和快速发展

概略地说,虚拟仪器是具有虚拟仪器面板的个人计算机仪器。它由通用的个人计算机、模块化的功能硬件和相应的测控软件组成,是计算机技术与仪器技术相结合的产物。与传统仪器相比,虚拟仪器自身不带任何仪器面板,利用个人机强大的图形环境和在线帮助功能,建立图形化的虚拟仪器面板,完成对仪器的控制、数据采集、数据分析和数据显示功能。虚拟仪器系统由用户而非仪器厂商定义;仪器硬件模块化,可重用和重新配置;系统功能、规模可通过修改软件、更换仪器硬件而增减;技术更新速度快(1~2年),开发维护费用低。在虚拟仪器中,仪器硬件仅起着信号的输入、输出功能,软件才是整个仪器的关键。操作人员通过他们所熟悉的“仪器化”图形界面及图形化编程语言控制仪器的运行,完成对被测量的采集、处理、显示、存储等^{[4],[5]}。图 1.3 为采用虚拟仪器形式构成的多功能测试系统^[6]。从系统配置的各功能卡可看出,仪器可完成时域、频域、数据域的各种测试,并且体积小、使用方便、易于携带。显然,其功能和用途均超过由各独立式仪器通过通信接口组成的自动测试系统。

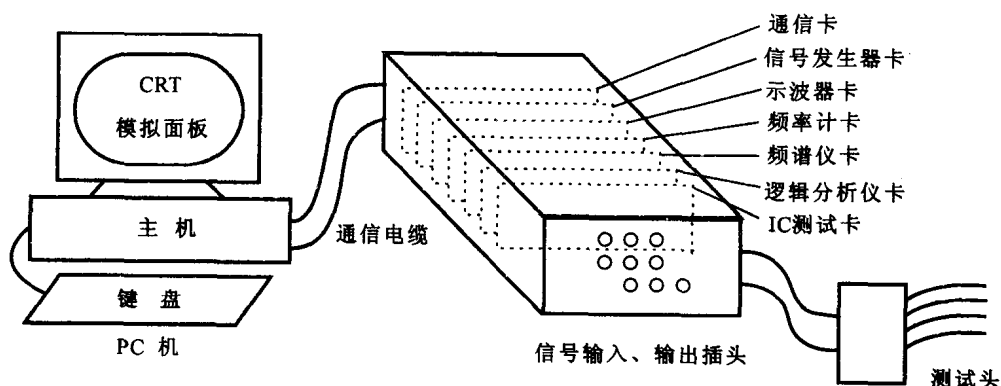


图 1.3 采用虚拟仪器形式构成的多功能测试系统

虚拟仪器的开发和应用起源于 NI (National Instruments) 公司于 1986 年为 Macintosh 设计的 LabVIEW1.0。由于虚拟仪器是基于个人计算机的测试仪器,因此它必然与个人计算机相关技术的发展有密切的关系。同时,虚拟仪器是测试仪器,它又带有浓厚的测试仪器的特征,这些特征由虚拟仪器的软件界面来体现。另外,虚拟仪器功能模块的作用也不容忽视,而功能模块的性能在很大程度上依赖计算机总线技术的发展和先进的元器件。近十年来,随

着计算机硬件技术和软件技术的飞速发展,虚拟仪器技术正朝着高性能、多功能、集成化、网络化方向迅速发展^[5]。

1.2.5 ASIC、FPGA/CPLD 技术在智能仪器中的广泛使用

长期以来,IC 芯片都是通用型的,如 CPU、存储器、逻辑器件、ADC 及 DAC 等。通用型 IC 芯片批量大,成本相应就低,用它们设计出的智能仪器的性价比就高。因此,在设计智能仪器时,设计者一般从通用芯片中选择所需的芯片。但是,随着智能仪器在高频、高灵敏度、高稳定性、高速度和低功耗等主要性能指标方面的进一步提高,通用 IC 芯片已难以胜任。近十年来,ASIC (Application Specific Integrated Circuits, 专用集成电路)无论在价格、集成度,还是在产量、产值方面均取得了飞速发展。因此,对仪器设计者来说,很有意义的一项工作是把一些性能要求很高的线路单元设计成专用集成电路而使智能仪器的结构更紧凑,性能更优良,保密性更强。

1.2.5.1 ASIC CAD 技术^[7]

ASIC 可分为数字 ASIC 和模拟 ASIC,数字 ASIC 又分为全定制 (Full Custom) 和半定制 (Semi Custom) 两种。

全定制是一种基于晶体管级的 ASIC 设计方法。设计人员使用版图编辑工具,从晶体管的版图尺寸、位置和互连线开始设计,以期实现 ASIC 芯片面积利用率高、速度快、功耗低的最优性能,但这种方式的设计周期长,比较适合批量大的 ASIC 芯片设计。

半定制是一种约束性设计方式。约束的主要目的是简化设计、缩短设计周期以及提高芯片成品率。半定制又分为门阵列 (Gate Array) ASIC 和标准单元 (Standard Cell) ASIC。

门阵列方式是 IC 厂家事先生产了大批的半成品芯片,其内部成行成列等间距地排列着以门为基本单元的阵列——称之为母片,只剩下一层或两层金属铝连线的掩膜需要根据用户电路的不同而定制。这种方式牵涉工艺较少,设计自动化程度高,设计周期短,设计费用和造价低,但芯片面积利用率低。设计人员只需要设计到电路一级,将电路的连结网表文件以 EDIF 格式交由 IC 厂家即可。

标准单元方式是由 IC 厂家预先设计好的一批具有一定功能的单元,这些单元以库的形式放在 CAD 工具中,它的结构符合一定的电气和物理标准,故被称为标准单元。设计人员在电路设计完成之后,利用 CAD 工具中的自动布局布线软件就可以在版图一级完成与电路一一对应的最终设计。

门阵列与标准单元在版图设计完成后都要进行仿真,以保证所设计的电路在映射到物理器件后完成功能的正确性。

模拟电路由于受布局布线影响较大,故而模拟 ASIC 的设计以采用全定制方式为主。

智能仪器设计中采用 ASIC 可以获得以下几个方面的好处:

- 可降低仪器的综合成本。采用 ASIC 可以大幅度减少印刷电路板的面积和有关的接插件,降低装配和调试费用。

- 可提高仪器的可靠性。大量分立式元器件在装配时,往往会发生由于虚焊或接触不良而造成故障,并且这种故障常常难以发现,这会给调试和维修带来极大的困难。因此,采用 ASIC 之后仪器的可靠性会大大提高。

- 可提高产品的保密程度和竞争能力。

- 可降低仪器的功耗。由于 ASIC 内部电路尺寸很小、互连线短、分布电容小,驱动电路所需的功耗就会大大降低;另外,由于芯片内部受外界的干扰很小,所以可采用较低的工作电压以降低功耗。

- 可提高仪器相关部分的工作速度。ASIC 芯片内部很短的连线能大大缩短延迟时间,并且其内部电路不易受外界干扰,这对提高速度非常有利;而且,ASIC 规模越做越大,有时可以将整个(子)系统集成到一块芯片上,这比用分立元器件构成的电路的速度要快得多。

- 可大大减小仪器相关部分的体积和重量。

- 半定制设计不涉及布局布线专业知识和经验,因此设计人员都能够接受这种 CAD 技术。

1.2.5.2 FPGA/CPLD CAD 技术^[7]

FPGA (Field Programmable Gates Array, 现场可编程门阵列) 与 CPLD (Complex Programmable Logic Device, 复杂可编程逻辑器件) 都是可编程逻辑器件,它们是在 PAL、GAL 等逻辑器件的基础之上发展起来的。同以往的 PAL、GAL 等相比较,FPGA/CPLD 的规模比较大,适合于时序、组合等逻辑电路应用场合,它可以替代几十甚至上百块通用 IC 芯片。这样的 FPGA/CPLD 实际上就是一个子系统部件。这种芯片具有可编程性和实现方案容易改动的特点。由于芯片内部硬件连接关系的描述可以存放在磁盘、ROM、PROM 或 EPROM 中,因而在可编程门阵列芯片及外围电路保持不动的情况下,换一块 EPROM 芯片,就能实现一种新的功能。FPGA 芯片及其开发系统问世不久,就受到世界范围内电子工程设计人员的广泛关注和普遍欢迎。

经过了十几年的发展,许多公司都开发出了多种类型的可编程逻辑器件 (PLDs, Programmable Logic Devices)。比较典型的就是 Xilinx 公司的 FPGA 器件系列和 Altera 公司的 CPLD 器件系列。它们开发较早,占据了较大的 PLD 市场。

FPGA/CPLD 芯片都是特殊的 ASIC 芯片,它们除了具有 ASIC 的特点之外,还具有以下几个优点:

- 随着 VLSI (Very Large Scale IC, 超大规模集成电路) 工艺的不断提高,单一芯片内部可以容纳上百万个晶体管,FPGA/CPLD 芯片的规模也越来越大,其单片逻辑门数已达到数十万门,它所能实现的功能也越来越强,同时也可以实现系统集成。

- FPGA/CPLD 芯片在出厂之前都做过百分之百的测试,不需要设计人员承担投片风险和费用,设计人员只需在自己的实验室里就可以通过相关的软硬件环境来完成芯片的最终功能指定。所以,FPGA/PLD 的资金投入小,不用对厂商做任何订单数量上的承诺,节省了许多潜在的花费,而且 FPGA/CPLD 的研制开发费用相对较低。

- FPGA/CPLD 芯片和 EPROM 配合使用时,用户可以反复地编程、擦除、使用或者在外围电路不动的情况下用不同的 EPROM 就可实现不同的功能。尤其是如果构造出该 FPGA/CPLD 芯片的实验板,则可更加灵活地实现不同电路的功能。所以,用 FPGA/CPLD 试制样品,能以最快的速度占领市场。当样品得到用户认可后再投入批量生产是电子产品研制和开发应用中的一种优选方法。

- FPGA/CPLD 芯片的电路设计周期很短。FPGA/CPLD 软件包中不但有各种输入工具和仿

真工具,而且还有版图设计工具和编程器等全线产品,电路设计人员在很短的时间内就可完成电路的输入、编译、优化、仿真,直至最后芯片的制作(物理版图映射)。当电路有少量改动时,更能显示出 FPGA/CPLD 的优势。它大大加快了新产品的试制速度,减少了库存风险与设计错误所带来的危险,从而提高了企业在市场上的竞争能力和应变能力。

·电路设计人员使用 FPGA/CPLD 进行电路设计时,不需要具备专门的 IC(集成电路)深层次的知识, FPGA/CPLD 软件易学易用,可以使设计人员更能集中精力进行电路设计。FPGA/CPLD 适合于正向设计(从电路原理图到芯片级的设计),对知识产权的保护也非常有利。

1.2.6 仪器的网络化测试技术受到广泛关注

随着计算机技术、网络技术和通信技术的高速发展与广泛应用,网络化测试技术受到广泛关注,这必将对网络时代的测试仪器和测试技术产生革命性变化。“网络就是仪器”确切地概括了测试和仪器的网络化发展趋势^[8]。

网络化测试系统以网络为基础,将分散的各种不同测试设备挂接在网络上,通过网络进行数据传输,实现资源、信息共享,协调工作,共同完成大型复杂系统的测试任务。

网络化测试系统主要由两大部分组成:一部分是组成系统的基本功能单元(PC 仪器、网络化测量仪器、网络化传感器、网络化测量模块);一部分是连接各基本功能单元的通信网络。用于测试和控制的网络与以信息共享为目的的信息网不同,前者采用工业 Ethernet,后者采用快速 Ethernet。

构建网络化测试系统需考虑以下几个方面的问题:①系统要具有开放性和互操作性;②系统的实时性和时间的确定性;③系统的成本尽可能低,通用性好;④基本功能单元必须是智能化的,带有本地微处理器和存储器,具有网络化接口。基本结构如图 1.4 所示的网络化测试系统可满足以上要求^[9]。

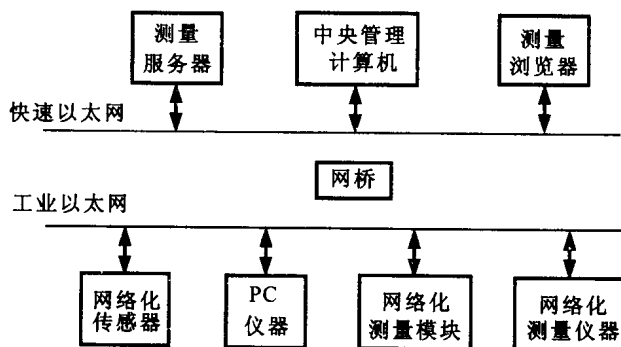


图 1.4 网络化测试系统的结构示意图

1.2.7 其 他

1.2.7.1 集成电路的 CMOS 化^[10]

与 TTL 集成电路相比, CMOS 集成电路具有的主要优点为:① CMOS 器件的噪声容限为