

高等学校电子信息类教材

现代测试技术与系统集成

刘君华 申忠如 郭福田 编著

Modern

Test

Technology

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



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校电子信息类教材

现代测试技术与系统集成

刘君华 申忠如 郭福田 编著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书全面系统地论述了以计算机为核心的现代测试系统集成设计的基本方法与基础理论,介绍了基本硬件模块:传感器、调理电路、数据采集卡的基本特性,以及组成现代测试系统通用硬件平台的基本原理与集成设计方法;介绍了实现测量功能的基础理论和驱动 I/O 接口设备的基本原理,以及在 LabWindows/CVI 或 LabVIEW 软件开发环境中,应用程序、驱动程序、软件模块的集成设计方法。书中还列举了各种集成设计实例和测试系统性能检验及评价的基本方法。

本书内容丰富、新颖、密切联系工程实际,并提供了丰富的基础知识,便于读者自学。读者还可以访问西安交通大学“远程网络测控实验室”网站,在其“虚拟学习室”中自主练习与学习。本书可作为高等院校电类、非电类专业测试技术课程的教材,也可供从事测试技术的工作者学习与参考。

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

现代测试技术与系统集成 / 刘君华, 申忠如, 郭福田编著. —北京: 电子工业出版社, 2004. 10

高等学校电子信息类教材

ISBN 7-121-00446-1

I. 现… II. ①刘… ②申… ③郭… III. 自动检测系统-高等学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 104241 号

责任编辑: 刘志红 特约编辑: 张 莉

印 刷: 北京京科印刷有限公司

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

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23 字数: 596 千字

印 次: 2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 29.80 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。联系电话:(010) 68279077。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。

前 言

现代测试系统是以计算机为核心的测试系统。它是目前广泛应用于各个领域、部门进行科学实验与工程实践的基本测试手段。最新一代的仪器——虚拟/集成仪器是现代测试系统的一种代表形式。虚拟仪器技术是建造现代测控系统最便捷最先进的工具。

现代测试系统的核心是两个平台：一个是以 PC 为核心的基础硬件模块（传感器、调理电路、I/O 接口设备、计算机）组成的硬件平台，另一个是软件平台。

在多种 I/O 接口设备中，由数据采集卡（Data Acquisition Board, DAQ）组建的硬件平台是现代测试系统的基本形式。硬件平台确立以后，决定系统功能的是软件，按照测量原理，采用相应的分析处理技术编制软件程序就可实现相应的测量功能。基于电测技术对电压、功率、相位、频率、电阻、电容、电感等参量的测量是应用得最广泛的测量功能。那些由硬件电路难以实现的传统观念上的“贵族式仪器”（如相关分析仪、频谱仪、数字滤波器等），若采用基于信号分析处理技术的软件实现，就不是一件困难的事情。

本书避开了非本质、非基本的总线技术，突出现代测试系统集成设计的基本方法。所谓现代测试系统集成设计技术，指两个方面：其一是将基本硬件模块——数据采集卡（DAQ）、传感器、调理电路、计算机组成一个现代测试系统的硬件平台，它应能满足静态指标（如量程、分辨率等）和动态指标（如动态幅值误差带宽等）的要求，对其测量功能进行检验，并给出性能评价；其二是调用现行软件平台中基于数学运算和信号分析处理的软件来实现仪器系统的测量功能。

虚拟仪器（Virtual Instrument, VI）是全新概念的新一代测试仪器。虚拟仪器打破了计算机与仪器之间的界限，它将传统仪器由硬件实现的信号分析处理与显示功能，改由功能强大的 PC 及其显示器完成。虚拟仪器开辟了用户自主设计仪器的新时代，因为一个软件就可以实现某种功能的测试仪器，多个软件就可以实现多种功能的集成仪器。因而拥有一台虚拟仪器就拥有了一个实验室，这将给使用者带来无尽的收益。

利用虚拟仪器技术控制现代测试系统的硬件平台和构建现代测试系统的软件平台，是创建现代测试系统的最先进、最便捷的手段。

作为现代测试系统集成设计的示例，本书选用虚拟仪器，原因在于它的先进性、实用性与可实现性，它为各个层次的设计者提供了广阔的思维空间。本书各章末的示例本身是简单的，甚至是不完备的，以便给读者留有更大的再创作余地。

全书共 9 章，分两大部分。前 4 章为第一部分，介绍现代测试系统硬件模块集成设计，重点介绍了常用基本硬件模块的基本特性及其技术指标；按照静态、动态特性的要求组建测量系统的集成方法；以及对组建的系统给出不确定度评价的方法。后 5 章为第二部分，介绍测试系统常用软件模块集成设计。顺应现代仪器仪表发展的需要，本书将测试基本理论的重点移至数字信号的分析与处理。同时突出了基本硬件模块与软件模块的系统集成与集成设计

思想,提出的现代测试系统具有模块化、软件化、智能化、网络化的特征。本书力求内容的基础性与先进性相结合,基础理论与测量功能相结合,尤其是测量原理的学习与工程实践相结合。在文字方面力求简明,读者同时可访问西安交通大学“网上测控实验室”,进入“虚拟学习室”操作虚拟样机,将书本学习与自主实践练习相结合,以期真正学会,并能达到举一反三的效果。

本书的编写要感谢我的学生们,他们是西安交通大学电气工程学院的研究生:汤晓君、李卫平、雷大字、周金林、钱凌影、贾峰、谭应朝、刘玉烨等。他们多次仔细阅读本书的底稿,并制作了本书的示例。还要感谢西安交通大学测控技术与仪器教研室的教师丁晖、白洁等同志,他们为本书提出了许多宝贵意见。

本书在电子工业出版社的大力支持和刘志红编辑的大力帮助下得以出版,编著者在此深表谢意。由于编著者水平有限,书中若有错误与不当之处,敬请批评指正,不吝赐教。

编著者

2004年4月于西安交通大学

目 录

绪论

第一部分 测试系统硬件模块集成设计

第 1 章 测量系统的基本特性	(8)
1.1 概述	(8)
1.2 测量系统的静态特性	(9)
1.2.1 静态特性的获得	(9)
1.2.2 静态特性的基本参数	(9)
1.2.3 静态特性的品质指标	(11)
1.2.4 【示例 1-1】	(15)
1.3 测量系统的动态特性	(19)
1.3.1 测量系统的数学模型	(19)
1.3.2 常见测量系统的数学模型	(21)
1.3.3 测量系统的动态特性参数	(23)
1.3.4 系统特性参数、动态误差与信号频率的关系	(29)
1.4 练习与实践	(32)
1.4.1 练习作业题	(32)
1.4.2 网上练习实践	(34)
第 2 章 典型基本单元硬件模块	(37)
2.1 传感器	(37)
2.1.1 传感器的定义	(37)
2.1.2 传感器的分类	(38)
2.2 电参数型传感器	(39)
2.2.1 电阻式传感器	(39)
2.2.2 电容式传感器	(46)
2.2.3 电感式传感器	(50)
2.2.4 电涡流传感器	(54)
2.2.5 电参数型传感器的应用	(55)
2.2.6 参数型传感器常用信号调理电路	(56)
2.3 电量型传感器	(62)
2.3.1 磁电感应式传感器	(62)

2.3.2	压电式传感器	(68)
2.3.3	热电式传感器	(73)
2.3.4	霍尔式传感器	(77)
2.4	频率输出型数字传感器	(81)
2.4.1	计量光栅计数型数字传感器	(81)
2.4.2	改变力学系统固有频率型数字传感器	(82)
2.5	放大器	(85)
2.5.1	测量放大器	(85)
2.5.2	程控放大器	(87)
2.5.3	隔离放大器	(88)
2.6	数据采集系统	(90)
2.6.1	数据采集系统的基本功能	(90)
2.6.2	数据采集系统的基本组成	(90)
2.6.3	Lab-PCI6024E 数据采集卡简介	(97)
2.6.4	3595 系列 IMP 多通道数据采集系统简介	(98)
2.7	习题	(99)
附录		(100)
附录 2-1	Pt100 铂热电阻分度表	(100)
附录 2-2	Cu100 铜热电阻分度表	(101)
附录 2-3	铂铑 30-铂铑 6 热电偶 (B 型) 分度表	(101)
附录 2-4	镍铬-镍硅热电偶 (K 型) 分度表	(103)
附录 2-5	镍铬-铜镍合金 (康铜) 热电偶 (E 型) 分度表	(104)
附录 2-6	铁-铜镍合金 (康铜) 热电偶 (J 型) 分度表	(105)
附录 2-7	常用非法定压力单位的换算关系	(107)
附录 2-8	摄氏度与华氏度的换算	(107)
第 3 章	测量不确定度的评定	(108)
3.1	测量不确定度基础	(108)
3.1.1	测量不确定度的概念	(108)
3.1.2	基本名词	(109)
3.1.3	测量误差的表示	(110)
3.1.4	测量误差的分类	(112)
3.1.5	有效数字	(113)
3.2	不确定度的评定	(115)
3.2.1	不确定度评定模型	(115)
3.2.2	A 类不确定度的计算	(115)
3.2.3	B 类不确定度的计算	(117)
3.2.4	合成不确定度的计算	(119)
3.2.5	扩展不确定度的计算	(121)

3.2.6 测量结果的表示	(122)
3.3 数据处理举例	(123)
3.4 微小误差准则	(129)
3.4.1 微小误差准则	(129)
3.4.2 标准仪器不确定度的选取	(130)
3.5 习题	(131)
第 4 章 测试系统集成设计与性能评价举例	(132)
4.1 测试系统集成设计原则与步骤	(132)
4.1.1 单元模块的选择与优化	(132)
4.1.2 参数的确定与预估	(132)
4.2 测试系统集成设计举例	(140)
4.2.1 单片机压力测量系统的设计	(140)
4.2.2 计算机采集型温度测量系统的设计	(146)
4.2.3 交流电压测量系统的设计	(156)

第二部分 测试系统常用软件模块

第 5 章 虚拟仪器编程语言平台介绍	(164)
5.1 概述	(164)
5.1.1 虚拟仪器的基本概念	(164)
5.1.2 虚拟仪器的构成及其分类	(165)
5.2 LabWindows/CVI 简介	(166)
5.2.1 LabWindows/CVI 编程环境	(166)
5.2.2 创建虚拟仪器——*.prj 工程文件的一般过程	(167)
5.2.3 【示例 5-1】压力值显示器（电压-压力转换器）	(169)
5.3 用 LabVIEW 设计虚拟仪器方法介绍	(176)
5.3.1 LabVIEW 的主菜单	(176)
5.3.2 LabVIEW 的基本开发环境	(177)
5.3.3 在 LabVIEW 上设计虚拟仪器的基础知识	(179)
5.3.4 【示例 5-2】压力值显示器	(181)
5.4 练习与实践	(182)
第 6 章 I/O 总线接口设备——数据采集驱动软件模块	(183)
6.1 数据采集卡	(183)
6.1.1 数据采集卡的基本性能指标	(183)
6.1.2 数据采集卡的安装	(185)
6.1.3 I/O 接口设备 Lab-PCI-6024E 数据采集卡简介	(185)
6.1.4 实现数据采集卡软件驱动前的参数设置	(185)
6.2 I/O 接口设备 Lab-PCI-6024E 数据采集卡的软件驱动	(187)

6.2.1	【示例 6-1】连续信号的采集与显示仪（用 LabVIEW 实现）	（187）
6.2.2	【示例 6-2】直流信号发生器（用 LabVIEW 实现）	（189）
6.2.3	【示例 6-3】连续信号输出与采集演示仪（用 LabVIEW 实现）	（190）
6.2.4	【示例 6-4】连续信号的采集与显示仪 （用 LabWindows/CVI 实现）	（191）
6.2.5	【示例 6-5】直流信号发生器（用 LabWindows/CVI 实现）	（192）
6.3	模拟信号输出用软件模块	（193）
6.3.1	采用 LabWindows/CVI 中 SineWave（）函数生成正弦波	（194）
6.3.2	采用 LabVIEW 中 Sine Wave.vi 图标生成正弦波	（196）
6.3.3	【示例 6-6】利用 LabWindows/CVI 设计正弦波信号发生器	（197）
6.3.4	【示例 6-7】利用 LabVIEW 设计正弦波信号发生器	（199）
6.4	非 NI 公司数据采集卡的驱动	（201）
6.4.1	PCI9111 数采卡的简介	（201）
6.4.2	PCI9111 数采卡的软件驱动程序设计	（201）
6.5	练习与实践	（202）
第 7 章	测量功能的软件实现（一）	（203）
7.1	信号的分类	（203）
7.1.1	确定性信号与非确定性（随机）信号	（204）
7.1.2	连续时间与离散时间信号	（207）
7.2	信号的幅值域分析与虚拟多值表	（208）
7.2.1	信号的幅值域分析	（208）
7.2.2	交流电气量的测量与虚拟多值表原理	（213）
7.2.3	【示例 7-1】交流电压多值表	（215）
7.2.4	练习与实践	（220）
7.3	基于信号时间域分析仪器及其测量功能的软件实现	（220）
7.3.1	信号的分解与合成	（220）
7.3.2	时域的参数分析	（222）
7.3.3	频率测量与虚拟频率计	（223）
7.3.4	【示例 7-2】虚拟波形发生器	（226）
7.3.5	练习与实践	（227）
7.4	基于信号相关分析测量仪器及其功能的软件实现	（228）
7.4.1	相关函数的定义式	（228）
7.4.2	自相关函数的性质与特点	（229）
7.4.3	互相关函数的性质与特点	（233）
7.4.4	【示例 7-3】周期信号幅值与自相关函数测试仪	（234）
7.4.5	【示例 7-4】提取微弱信号的相关仪	（236）
7.4.6	练习与实践	（241）
7.5	信号的频域分析类仪器及其测量功能的软件实现	（242）

7.5.1	周期信号与离散频谱	(243)
7.5.2	非周期信号与连续频谱	(246)
7.5.3	傅里叶变换的性质	(251)
7.5.4	离散时间信号的频谱	(257)
7.5.5	离散傅里叶变换 (DFT)	(260)
7.5.6	信号的频谱分析	(262)
7.5.7	【示例 7-5】简单频谱分析仪	(269)
7.5.8	基于 FFT 的测量仪器	(273)
7.5.9	练习与实践	(276)
第 8 章	测量功能的软件实现 (二)	(277)
8.1	数字滤波器在测量系统中的应用及其软件实现	(277)
8.1.1	滤波器的分类	(277)
8.1.2	数字滤波器的数学基础——Z 变换简介	(282)
8.1.3	IIR 滤波器的设计方法简介	(291)
8.1.4	LabVIEW 与 LabWindows/CVI 中的滤波函数 / 图标简介	(296)
8.1.5	【示例 8-1】虚拟巴特沃兹滤波器	(300)
8.1.6	其他滤波技术的软件实现	(302)
8.2	相位测量与虚拟相位差计功能的软件实现	(306)
8.2.1	基于相位-时间转换的相位差测量法	(306)
8.2.2	基于 FFT 谱分析的相位差测量法	(308)
8.2.3	基于相关原理的相位差测量法	(310)
8.3	电参量 R, L, C 的测量与相关测量仪器功能的软件实现	(313)
8.3.1	电桥法	(314)
8.3.2	调幅波解调仪示例	(317)
8.3.3	谐振法	(319)
8.3.4	伏安法 (同时测量电压、电流法)	(322)
8.3.5	练习与实践	(323)
第 9 章	测试系统智能化功能的软件实现	(324)
9.1	改善静态性能智能化功能的软件实现	(324)
9.1.1	非线性自校正	(324)
9.1.2	自校零与自校准	(328)
9.2	改善动态性能的智能化频率自补偿技术	(332)
9.2.1	数字滤波法	(332)
9.2.2	频域校正法	(336)
9.3	改善系统稳定性智能化多信息融合技术	(337)
9.3.1	二传感器信息融合——二维回归分析法	(338)
9.3.2	三传感器信息融合——三维回归方程	(343)

9.4 提高系统信噪比的智能化消噪技术	(344)
9.5 测控系统控制功能的软件实现	(344)
9.5.1 模拟 PID 控制器的传递函数	(344)
9.5.2 数字式 PID 控制器脉冲传递函数	(345)
9.6 测控系统网络化的软件实现	(347)
9.6.1 测控系统网络化的软件实现	(347)
9.6.2 基于 Internet 的远程测控系统实现技术	(350)
9.6.3 西安交通大学“远程网络测控实验室”介绍	(353)
9.7 练习与实践	(356)
9.7.1 “虚拟学习室”练习	(356)
9.7.2 问题	(356)
参考文献	(357)

绪 论

0.1 仪器仪表在当代社会中的重要作用

测试系统与仪器仪表是科研与生产测试的工具，是测试技术的表征。

测试的基本任务是获得有用的信息。测试的过程是借助专门的设备、仪器、测试系统，通过适当的实验方法与必需的信号分析及数据处理，由测得的信号求取与研究对象有关信息量值的过程，最后显示或输出其结果。因此，测试技术属于信息科学范畴，是信息技术的三大支柱（测试控制技术、计算技术和通信技术）之一。

测量是以确定被测物属性量值为目的的一组操作。测试是具有测试性质的测量，或者可理解为测量与试验的综合。

仪器仪表是可以通用化、规格化，并且可商业化的测试系统。

0.1.1 仪器仪表的界定

根据中国仪器仪表学会组织的，以王大衍、杨嘉墀院士为顾问，以金国藩院士为组长的专家调研组于 2001 年 2 月底完成的题为“关于振兴我国仪器仪表产业对策与建议”的调研报告，明确界定了现代仪器仪表包含以下 6 个领域。

- (1) 自动化仪表与控制系统：如分散控制系统、现场控制系统、现场仪表等。
- (2) 科学仪器：如各种色谱、光谱分析仪器等。
- (3) 医疗仪器：各种医用诊断、治疗仪器等。
- (4) 信息技术电测仪器：如各种电子与电工测量仪器等。
- (5) 各种专用仪器：如地质、气象海洋、航天航空、汽车等特定领域的专用仪器。
- (6) 传感器及仪器仪表元器件和材料。

0.1.2 仪器仪表在当代社会的作用

仪器仪表是对物质世界的信息进行测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。

1. 工业生产的“倍增器”

仪器仪表对工业生产具有“四两拨千斤”的拉动作用。以美国为例，它的仪器仪表产业占全美社会总产值的 4%，而它拉动的相关经济产值却达到社会总产值的 66%。又以现代化大生产为例，庞大的发电厂、炼油厂、化工厂、钢铁厂等的稳定生产与巨额产值是由占企业固定资产 10%~15% 的各种测量与控制仪表来保证的。

2. 科学研究的“先行官”

伟大的科学家门捷列夫说过：“没有测量就没有科学”。诺贝尔奖设立至今，众多科学家得奖都是基于先进仪器的诞生才获得重大的科学发现。例如，正是因为有了改进的仪器仪表，才使人类基因的测试提前了 3 年完成。

3. 军事上的“战斗力”

现代武器装备几乎都配备了相关的检测、控制仪器仪表。

4. 确认证据的“物化法官”

在产品质检，环境污染监测，查服违禁药物，识别指纹、假钞与金属利器等方面的仪器仪表是确认证据的科学依据。

0.2 现代测试系统的基本结构与类型

传统的测试系统与仪器仪表由硬件电路执行对数据的各种运算与信号的分析、处理，因而只能获得有限的信息与测量功能。现代测试系统与仪器仪表的核心是计算机，利用计算机进行数学运算与信号分析处理，可以获取最大限度的信息与测量功能。

现代测试系统大致可分为三类：基本型、标准接口型与闭环控制型。

0.2.1 基本型

如图 0-1 所示为计算机控制现代测试系统的基本形式。它能完成对多点、多种随时间变化参量的快速、实时测量，并能排除噪声干扰，进行数据处理、信号分析，由测得的信号求出与研究对象有关的信息的量值或给出其状态的判别。

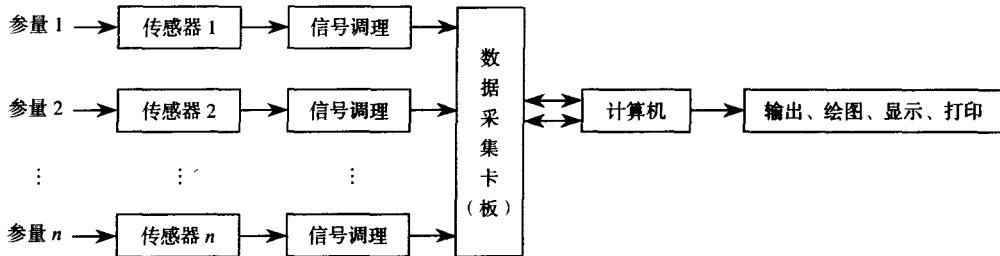


图 0-1 计算机控制现代测试系统的基本形式框图

系统各组成部分的功能如下。

1. 传感器

传感器完成信号的获得，它将规定的被测参量按一定规律转换成相应的可用输出信号，被测参量可以是各种非电参量，也可以是电气参量。如电力输电线路高电压电网，可通过电压互感器将高电压变为 100V 电压，通过电流互感器将电网大电流变为 5A 后，仍需采用电压、电流传感器或变送器将 100V 电压及 5A 电流分别转换成 5V 低电压，送入数据采集卡（板）

中的 A/D 转换器。

2. 信号调理

来自传感器的输出信号通常是含有干扰噪声的微弱信号。因此,后面配接的信号调理电路的基本作用有两个:其一是放大,将信号放大到与数据采集卡(板)中的 A/D 转换器相适配;其二是预滤波,抑制干扰噪声信号的高频分量,将频带压缩以降低采样频率,避免产生混淆(见第 7 章)。如果信号调理电路输出的是规范化的标准信号,即 4~20mA 的电流信号,则称这种信号调理电路与传感器的组合为变送器。此外,根据需要还可进行信号的隔离与变换等。

3. 数据采集卡(板)

其主要功能有三:其一是由衰减器和增益可控放大器进行量程自动改换;其二是由多路切换开关完成对多点多通道信号的分时采样,时间连续信号 $x(t)$ 经过采样后变为离散时间序列 $x(n)$, $n=0,1,2,\dots$;其三是将信号的采样值由 A/D 转换器转换为幅值离散化的数字量,或由 V/F 转换器转换为脉冲频率,以适应计算机工作,或者由 D/A 转换器输出控制信号。

4. 计算机

计算机是系统的神经中枢,它使整个测量系统成为一个智能化的有机整体,在软件引导下按预定的程序自动进行信号采集与存储,自动进行数据的运算分析与处理,指令以适当形式输出、显示或记录测量结果。根据采用的计算机类型可分为两种形式。

(1) 智能仪器

以微型计算机或微处理器(Microprocessor)为核心,于 20 世纪 80 年代初开始,是测量技术与计算机最初结合的形式。如美国霍尼韦尔公司的 ST-3000 型和美国罗斯蒙特公司的 3051 型智能压力变送器,将以微处理器所在的数据处理主板放到压力传感器腔内,将传感器与计算机赋予智能的结合产生了智能传感器/变送器,打破了传感器与仪器的界限。

(2) 虚拟/集成仪器

以个人计算机(Personal Computer)为核心,利用 PC 的运算与分析处理功能和显示功能,打破了计算机与仪器的界限。由于有更强大的运算与信号分析处理和显示功能,所以与以微处理器为核心构成的仪器相比,虚拟仪器/集成仪器有更强大的智能,并且实现起来更容易、更快捷。

0.2.2 标准通用接口型

系统的结构形式可分为专门接口型和标准通用接口型。专门接口型是将具有一定功能的模块相互连接而成。由于各种模块千差万别,组成系统时相互间连接十分麻烦,而且模块是系统不可分割的一部分,不能单独使用,缺乏灵活性。标准通用接口型也是由模块(如台式仪器或插件板)组合而成的,所有模块的对外接口都按规定标准设计。组成系统时,若模块是台式仪器,用标准的无源电缆将各模块接插连接起来就构成了系统。若模块为插件板,只要将各插件板插入标准机箱即可。组建这类系统非常方便,例如:

- GPIB (General Purpose Interface Bus), 是采用通用接口总线的仪器系统;

- VXI (VME Bus Extension for Instrumentation), 是采用高速计算机总线 VME, 在仪器领域扩展的新一代标准总线模块化仪器系统;
- PXI (PCI Extension for Instrumentation), 是采用计算机总线, 在仪器领域扩展的总线模块化仪器系统。

0.2.3 闭环控制型

闭环控制型仪器仪表实指两个含义: 一是指该类仪表内部本身具有闭环反馈环节; 二是指含有测试系统的闭环控制系统, 如自动化仪表与控制系统。计算机控制的现代自动控制系统大体上有三个环节。

(1) 实时信号的获取、调理、转换与采集: 由传感器、调理电路、A/D 与 D/A 转换器、微处理器、数字接口电路组成。

(2) 实时判断决策与控制: 由计算机或微处理器 (μP) 对采集来的表征过程状态的物理量进行运算分析、判断决策, 并按已定原则和自动控制理论实时地对执行机构发出控制指令。

(3) 实时执行控制: 由执行器接收控制指令并执行。

智能化现场仪表 (含智能压力 / 压差变送器、智能执行器等) 与现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, FCS) 框图, 如图 0-2 所示。

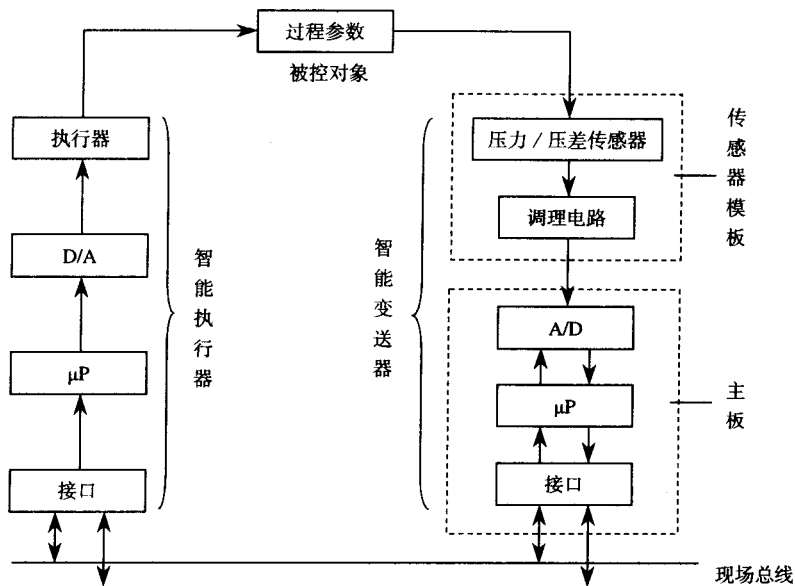


图 0-2 智能化现场仪表与现场总线控制系统框图

0.3 仪器仪表的发展方向

仪器技术与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念, 随着微电子技术、计

算机技术、信息技术的发展,测试技术及仪器仪表向着微型化、集成化、软件化、智能化与网络化方向迅猛发展,使得传感器与仪器的界限消失,仪器与计算机的界限消失,出现了测量、控制、通信系统合而为一的系统。

0.3.1 逐步实现系统微型化

以半导体材料取代金属、敏感元件采用 MEMS 为特征的现代传感器技术正飞速发展。传感器、调理电路、微处理器组成的智能传感器系统,已由多片集成系统发展到在一块芯片上集成实现,所以,由 MEMS (Micro-Electronic Mechanical System) 技术结合半导体工艺制作现代传感器系统,正带领测控系统走向智能化、微型化。

0.3.2 系统集成化技术快速发展

除了可以使整个测试系统集成在一块芯片上的半导体集成化工艺技术的快速发展外,系统集成与集成仪器技术也正迅速发展。

1. 系统集成

测量系统各个硬件环节,如传感器、计算机、执行器等,都由模块组合而成,所有模块都带有标准接口,采用标准化协议,从而使不同厂家的产品在硬件、软件、通信规程、连接方式等方面互相兼容。这种开放性与互换性使得系统易于安装、使用、维修与扩展,从而实现了系统集成及集成化技术的迅速发展。

2. 集成仪器的概念

集成仪器的概念至今还未有正式的定义。它与现代仪器仪表的测量功能由软件来实现密切相关。在仪器通用硬件平台确定并建立后,调用某一测试软件完成某种功能的测试任务,这构成了该种功能的测量仪器。在同一平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的测量仪器,故可方便地将多种测试功能集成于一体,组成多功能集成仪器。虚拟仪器正是集成仪器的体现,打破了测试仪器与计算机的界限。

0.3.3 软件在测试系统中的地位日益提高

在测试系统硬件平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器。因此,软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天,系统硬件集成越来越简化。反之,软件越来越复杂、越来越重要,是未来发展和竞争的焦点。有专家预言:“在测试平台上,下一次变革就是软件”,并且有“硬件平台确定后,软件就是仪器”的说法。

0.3.4 测试系统智能化功能不断增强

计算机和体现信号分析与处理功能软件的结合是实现智能化的手段。智能化是改善、提高、扩展测试系统性能的必由之路。现代测试系统加智能化发展起来的智能传感器系统,打破了传感器与仪器的界限。现场控制系统(FCS)要求现场仪表具有智能化功能的需求成为智能传感器系统产生、发展的强劲推动力,推动智能化功能不断增强。

0.3.5 向更大范围网络化方向发展

以总线化为代表的网络化测试系统迅猛发展。一个石油化工厂需要 6 000 台传感器及其配套监测仪表, 一个钢铁厂需要 20 000 台传感器及其配套监测仪表, 一个电站需要 5 000 台传感器及其配套监测仪表, 一个大型发电机组需要 3 000 台传感器及其配套监测仪表。一个工厂需要将如此多的测试系统组成网络系统, 将测量、控制、通信系统合而为一, 实现全厂范围的最优控制与优化管理, 以获得最大的效率、最低的成本。疑难危重病人的监测、环境监测、电能自动化实时抄表系统的发展, 更是需要跨地区, 以及更大范围的网络化测试系统。虚拟仪器技术与 Internet 网络技术相结合, 给网络化测试系统的发展注入了新的活力, 推动其取得长足的发展。

有人说: “计算机是现代测试系统 / 仪器仪表的心脏, 软件是其灵魂”, 这是很形象的比喻。但不能认为, 掌握了计算机技术就等于掌握了现代测试技术。这是因为, 其一, 计算机不可能代表测试系统的硬件平台, 它只是其核心部分, 而非全部, 不懂得测试基本原理就不可能正确地将各个基本模块集成为一个符合要求的测试系统; 其二, 计算机的一般软件程序不能等同于测试功能的软件程序。一个专门的计算机程序设计者, 可以熟练而又巧妙地编写科学计算程序。但若不懂得测试技术, 则根本无法编制测试程序。测试程序是专业程序编制人员无法编写的, 必须并且只能由精通测试技术的工程人员编写。然而, 时代发展至今, 将基本测量模块集成为符合要求的现代测试系统的硬件平台, 在此平台上用软件实现预期的测量功能, 已是一般科研工程技术人员的基本技能, 并非专职仪器设计工作者的职能。因此, 现代测试技术及其系统集成的测试人员, 既要熟练掌握计算机应用技术, 更要深入掌握测试技术的基本理论。