

虚拟仪器技术规范与系统集成

赵会兵 编著

清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>
北方交通大学出版社
<http://press.njtu.edu.cn>

高等学校电子信息类系列教材

虚拟仪器技术规范与系统集成

赵会兵 编著

清华大学出版社
北方交通大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书在全面介绍 VXI 总线规范、VPP 规范、IVI 规范和 PXI 规范的基础上,对基于 VXI、PXI 及数据采集的虚拟仪器系统集成和软件开发做了详细的论述。

全书共分 6 章。在介绍每种虚拟仪器系统时,都详细论述了系统集成的方法并给出了一些应用实例。在介绍虚拟仪器软件开发时,则着重描述了基于 LabWindows/CVI 集成开发环境的初级编程和高级编程技术。

全书内容系统、全面,论述简洁,密切联系虚拟仪器与自动测试应用的实际。

本书可作为工科院校测控技术、自动控制和仪器仪表专业的高年级本科生、研究生教材使用,也可供从事自动测试和虚拟仪器系统设计与集成的工程技术人员使用。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

虚拟仪器技术规范与系统集成 / 赵会兵编著. —北京:北方交通大学出版社,2003.8
(高等学校电子信息类系列教材)

ISBN 7-81082-164-4

I. 虚… II. 赵… III. 软件工具-高等学校-教材 IV. TP311.56

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 055790 号

责任编辑:段连平

特邀编辑:侯会乔

印刷者:北京市黄坎印刷厂

出版发行:北方交通大学出版社

邮编:100044

电话:010-51686045, 62237564

清华大学出版社

邮编:100084

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:21 字数:524 千字

版 次:2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:29.00 元

前 言

仪器是人类认识世界的基本工具，在科学研究、工业生产、国防试验和人们的日常生活中起着十分重要的作用。

随着信息时代和网络时代的来临，仪器已不再是简单的机械或电子设备，而是融合了机械、电子、光学、计算机、材料科学、物理学、化学、生物学、系统工程等学科和先进制造技术等的一门综合性技术，是知识创新和技术创新的基本前提和重要内容。作为信息时代信息获取的主要手段，仪器与自动测试技术已成为促进现代生产的主流环节，其整体发展水平也成为国家综合国力强弱的重要标志之一。

近年来，计算机技术、软件技术和总线技术的迅猛发展对仪器与自动测试技术领域产生了革命性的影响。1987年，VXI总线的诞生标志着仪器与自动测试技术发展进入了一个崭新的阶段，随后VPP规范、IVI规范、PXI规范相继问世，虚拟仪器的概念也深入人心，应用领域不断拓展。为了使读者对各种虚拟仪器的技术规范、系统集成和应用有较为系统和深入的了解，作者在近几年教学和科研实践的基础上，参阅了大量技术规范和文献，编写了本书。

全书分为6章。第1章介绍了仪器与自动测试技术的发展历史和展望，叙述了虚拟仪器的基本概念和特点，简要介绍了用于虚拟仪器系统的各种总线；第2章在介绍VME总线规范的基础上，详细叙述了VXI总线技术规范各个组成部分，阐述了VXI总线自动测试系统集成的有关问题；第3章详细介绍了VXI即插即用规范的各个组成部分，包括仪器驱动器、VISA、软面板等技术规范，并对IEEE 488.2和SCPI做了简要介绍；第4章在阐明IVI技术的产生背景和技术特点的前提下，详细介绍了IVI仪器驱动器及各IVI仪器类规范，最后给出了IVI软件的安装与使用方法说明；第5章介绍了最新的PXI技术规范 and PXI系统组建方法，简要介绍了基于数据采集的虚拟仪器系统的有关问题；第6章介绍了三种虚拟仪器软件开发环境与软件设计方法，包括LabWindows/CVI、LabVIEW和Agilent VEE，着重叙述了LabWindows/CVI的入门编程和高级编程技术，给出LabWindows/CVI的一些应用实例。

本书由赵会兵编著。杨国询为部分章节的编写提供了写作素材，并做了大量的图表编排工作。本书在写作过程中一直得到汪希时教授的不断鼓励和支持。在作者进行虚拟仪器系统研究的过程中，著名电子测量专家孙续教授给予了热情的指导和关怀。北方交通大学运输自动化科研所的许多同志也对本书的编写给予了热情的支持和帮助。本书受北方交通大学出版基金资助。在此，对他们一并表示衷心的感谢。

本书可作为工科院校测控技术、自动控制和仪器仪表专业的高年级本科生、研究生教材使用，也可供从事自动测试和虚拟仪器系统设计与集成的工程技术人员使用，作为员工培训的教材和参考手册。

鉴于作者水平有限，书中存在的错误和不足之处，恳请读者批评指正。

作 者

2003年8月于北方交通大学

目 录

1 绪论	1
1.1 仪器与自动测试技术的发展概况	1
1.1.1 仪器技术的发展概况	1
1.1.2 自动测试技术的发展概况	3
1.2 虚拟仪器的概念和特点	4
1.2.1 虚拟仪器的基本概念	4
1.2.2 虚拟仪器的系统构成	5
1.2.3 虚拟仪器的特点	6
1.3 仪器与自动测试系统总线技术概述	7
1.3.1 总线的概念与分类	7
1.3.2 总线系统的优越性	8
1.3.3 仪器与自动测试系统总线	9
1.4 仪器与自动测试技术的展望	15
习题	17
2 VXI 总线技术规范与系统集成	18
2.1 概述	18
2.1.1 VXI 总线的产生背景	18
2.1.2 VME 总线规范简介	19
2.1.3 VXI 总线对于 VME 总线的扩展	19
2.1.4 VXI 总线技术规范文本	21
2.2 VME 总线技术规范	21
2.2.1 概述	21
2.2.2 VME 总线系统的机械特性	24
2.2.3 VME 总线结构与特点	25
2.2.4 VME 总线系统控制器	36
2.2.5 VME 总线 M 模块	37
2.3 VXI 总线系统的机械与电气特性	37
2.3.1 VXI 总线系统的机械特性	37
2.3.2 VXI 总线子系统的 P1 连接器	41
2.3.3 VXI 总线子系统的 P2 连接器	41
2.3.4 VXI 总线子系统的 P3 连接器	53
2.3.5 VXI 总线系统的背板	56
2.3.6 电磁兼容和 VXI 总线系统电源	57

2.4 VXI 总线的系统结构	58
2.4.1 概述	58
2.4.2 VXI 总线系统器件及其操作	60
2.4.3 VXI 总线系统的器件通信协议	72
2.4.4 VXI 总线系统资源与资源管理器	76
2.5 VXI 总线自动测试系统集成	78
2.5.1 概述	78
2.5.2 VXI 总线系统控制器的选择	80
2.5.3 VXI 总线系统主机箱的选择	83
2.5.4 VXI 总线系统仪器模块的选择	84
2.5.5 VXI 总线系统开发技术	85
习题	86
 3 VXI 即插即用规范	87
3.1 概述	87
3.1.1 VXI 即插即用的由来	87
3.1.2 VXI 即插即用的指导原则	87
3.1.3 VXI 即插即用的核心技术	89
3.1.4 VXI 即插即用规范文本	89
3.2 VPP 系统框架	90
3.2.1 概述	90
3.2.2 VXI 系统框架	92
3.2.3 WIN/WIN95/WINNT/HP-UX/SUN 系统框架	92
3.2.4 GWIN/GWIN95/GWINNT/GHPUX/GSUN 框架	96
3.3 仪器驱动器	96
3.3.1 概述	96
3.3.2 仪器驱动器的结构模型	98
3.3.3 仪器驱动器函数体规范	102
3.3.4 仪器驱动器交互式开发者接口	106
3.4 虚拟仪器软件体系 VISA	109
3.4.1 概述	109
3.4.2 VISA 资源管理器	113
3.4.3 VISA 资源模板	118
3.4.4 VISA 资源类	127
3.5 虚拟仪器的软面板	129
3.5.1 概述	129
3.5.2 软面板的技术要求	130
3.5.3 软面板设计指南	131
3.6 其他 VXI 即插即用规范	133
3.6.1 VXI 部件知识库	133

3.6.2 安装与包装	138
3.6.3 VXI 模块/主机箱与转接器的互连	142
3.6.4 仪器厂商名称缩写	142
习题	144
4 IVI 技术规范及其应用	145
4.1 概述	145
4.1.1 IVI 的发展简史	145
4.1.2 IVI 基金会	146
4.1.3 IVI 的技术特点	148
4.2 IVI 驱动器及相关技术规范	149
4.2.1 IVI 驱动器的特性	149
4.2.2 IVI 固有功能组规范简介	153
4.2.3 标准交叉仪器类功能规范简介	156
4.3 IviScope 示波器类规范	158
4.3.1 概述	158
4.3.2 IviScopeBase 功能组规范	159
4.3.3 IviScope 扩展功能组规范	165
4.3.4 IviScope 仪器类的函数层次结构	175
4.4 IviDmm 数字万用表类规范	176
4.4.1 概述	176
4.4.2 IviDmmBase 功能组规范	177
4.4.3 IviDmm 扩展功能组规范	180
4.4.4 IviDmm 仪器类的函数层次结构	185
4.5 IviFgen 函数发生器类规范	187
4.5.1 概述	187
4.5.2 IviFgenBase 功能组规范	187
4.5.3 IviFgen 扩展功能组规范	190
4.5.4 IviFgen 仪器类的函数层次结构	195
4.6 IviDCPwr 直流电源类规范	197
4.6.1 概述	197
4.6.2 IviDCPwrBase 功能组规范	197
4.6.3 IviDCPwr 扩展功能组规范	199
4.6.4 IviDCPwr 仪器类的函数层次结构	200
4.7 IviSwth 开关类规范	202
4.7.1 概述	202
4.7.2 IviSwthBase 功能组规范	202
4.7.3 IviSwth 扩展功能组规范	204
4.7.4 IviSwth 仪器类的函数层次结构	206
4.8 IVI 软件的安装与应用	207

4.8.1	IVI 软件的安装	207
4.8.2	IVI 驱动器的应用	207
	习题	209
5	PXI 总线与其他虚拟仪器技术	210
5.1	PXI 总线规范及其应用	210
5.1.1	概述	210
5.1.2	PXI 机械规范	211
5.1.3	PXI 电气规范	214
5.1.4	PXI 软件规范	225
5.1.5	PXI 系统组建与应用	228
5.2	基于数据采集系统的虚拟仪器	232
5.2.1	数据采集系统的组成	232
5.2.2	数据采集卡	238
5.2.3	数据采集系统集成	239
	习题	240
6	虚拟仪器的软件开发环境与软件设计	241
6.1	概述	241
6.1.1	虚拟仪器的软件开发环境	241
6.1.2	虚拟仪器的软件设计	241
6.2	LabWindows/CVI 开发环境与软件设计	242
6.2.1	LabWindows/CVI 简介	242
6.2.2	LabWindows/CVI 集成开发环境	243
6.2.3	创建简单的 LabWindows/CVI 应用例程	249
6.2.4	RS-232 串行通信编程技术	256
6.2.5	GPIB 总线仪器编程技术	257
6.2.6	VXI 总线仪器编程技术与实例	260
6.2.7	数据采集编程技术与实例	266
6.2.8	LabWindows/CVI 高级编程技术	269
6.3	LabVIEW 开发环境与软件设计	274
6.3.1	LabVIEW 简介	274
6.3.2	LabVIEW 开发环境	275
6.3.3	创建简单的 LabVIEW 应用例程	279
6.4	Agilent VEE 开发环境与软件设计	281
6.4.1	Agilent VEE 简介	281
6.4.2	Agilent VEE 开发环境	282
6.4.3	创建简单的 Agilent VEE 应用例程	284
6.5	虚拟仪器设计综合实验	286
6.5.1	虚拟信号发生器设计实验	286
6.5.2	虚拟信号时域分析仪设计实验	287

6.5.3 虚拟信号频谱分析仪设计实验.....	289
6.5.4 虚拟相位差分析仪设计实验.....	290
6.5.5 虚拟双端口网络辨识仪设计实验.....	291
习题.....	292
附录 A IEEE 488.2 标准	293
A1 IEEE 488.2 的内容和应用范围.....	293
A2 IEEE 488 接口系统的消息交换.....	294
A3 IEEE 488.2 公用命令.....	294
附录 B 可编程仪器标准命令 SCPI	298
附录 C VISA 资源类的属性集、事件集和操作集	300
C1 INSTR 资源的属性集、事件集和操作集.....	300
C2 MEMACC 资源的属性集、事件集和操作集.....	304
C3 INTFC 资源属性集、事件集和操作集.....	305
C4 BACKPLANE 资源的属性集、事件集和操作集.....	307
C5 SERVANT 资源的属性集、事件集和操作集.....	308
C6 SOCKET 资源的属性集、事件集和操作集.....	310
附录 D LabWindows/CVI 的函数库	311
附录 E 英文缩写索引	322
参考文献	324

1 绪论

1.1 仪器与自动测试技术的发展概况

1.1.1 仪器技术的发展概况

仪器是人类认识世界的基本工具，也是信息社会人们获取信息的主要手段之一。电子测量仪器发展至今，经历了指针式仪表、模拟器件仪器、数字器件仪器、智能仪器、个人仪器、虚拟仪器等发展阶段。其间，微电子学和计算机技术对仪器技术的发展起了巨大的推动作用。

20 世纪 70 年代以来，随着微处理器和计算机技术的发展，微处理器或微机被越来越多地嵌入到测量仪器中，构成了所谓的智能仪器或灵巧仪器（Smart Instruments）。智能仪器实际上是一个专用的微处理器系统，一般包含有微处理器电路（CPU、RAM、ROM 等）、模拟量输入输出通道（A/D、D/A、传感器等）、键盘显示接口、标准通信接口（GPIB 或 RS-232）等。智能仪器使用键盘代替传统仪器面板上的旋钮或开关，对仪器实施操控，这就使得仪器面板布置与仪器内部功能部件的分布之间不再互相限制和牵连；利用内置微处理器强大的数字运算和数据处理能力，智能仪器能够提供自动量程转换、自动调零、触发电平自动调整、自动校准和自诊断等“智能化”功能；智能仪器一般都带有 GPIB（General Purpose Interface Bus）或 RS-232 接口，具备可编程功能，可以很方便地与其他仪器实现互连，组成复杂的自动测试系统。

随着智能仪器和个人计算机（PC 机）的大量应用，在工程技术人员的工作台上常常会出现多台带有微机的仪器与 PC 机同时使用。一个系统中拥有多台微机、多套存储器、显示器和键盘，但又不能相互补充或替代，造成资源的极大浪费。1982 年，美国西北仪器系统公司推出了第一台个人仪器（Personal Instrument）。个人仪器也称为 PC 仪器（PC Instrument）或卡式仪器。在个人仪器或个人仪器系统中，通用的个人计算机代替了各台智能仪器中的微机及其键盘、显示器等人机接口，由置于个人计算机扩展槽或专门的仪器扩展箱中的插卡或模块来实现仪器功能，这些仪器插卡或模块通过 PC 总线直接与计算机相连。个人仪器充分利用了 PC 机的软件和硬件资源，相对于传统仪器，大幅度地降低了系统成本、缩短研制周期。因此，个人仪器的发展十分迅速。

个人仪器最简单的构成形式是将仪器卡直接插入 PC 机的总线扩展槽内。这种构成方式结构简单、成本很低，但缺点是 PC 机扩展槽数目有限，机内干扰比较严重，电源功率和散热指标也难以满足重载仪器的要求。此外，PC 总线也不是专门为仪器系统设计的，无法实现仪器间的直接通信以及触发、同步、模拟信号传输等仪器专用功能。因此，这种卡式个人仪器性能不是很高。

为了克服卡式仪器的缺点，美国 HP（Hewlett Packard）公司于 1986 年推出了 6000 系列模块式 PC 仪器系统，该系统采用了外置于 PC 机的独立仪器机箱和独立的电源系统；专

门设计了仪器总线 PC-IB; 提供了 8 种常用的个人仪器组件, 即数字万用表、函数发生器、通用计数器、数字示波器、数字 I/O、继电器式多路转换器、双 D/A 转换器和继电器驱动器, 每种组件都封装在一个塑料机壳内, 并具有 PC-IB 总线接口。在将一块专用接口卡插入 PC 机扩展槽后, PC 机与外部仪器组件就可以通过 PC-IB 总线实现连接。随后, Tektronix 公司及其他一些公司也相继推出了各自的高级个人仪器系统。

个人仪器系统以其突出的优点显示了它强大的生命力。然而, 由于各厂家在生产个人仪器时没有采用统一的总线标准, 不同厂商的机箱、模块等产品之间兼容性很差, 在很大程度上影响了个人仪器的进一步发展。1987 年 7 月, Colorado Data systems、HP、Racal Dana、Tektronix 和 Wavetek 五家公司成立的一个专门委员会颁布了用于通用模块化仪器结构的标准总线——VXI (VMEbus Extensions for Instrumentation) 总线的技术规范。VXI 总线是在 VME 计算机总线的基础上, 扩展了适合仪器应用的一些规范而形成的。VXI 总线是一个公开的标准, 其宗旨是为模块化电子仪器提供一个开放的平台, 使所有厂商的产品均可在同一个主机箱内运行。自诞生之日起, VXI 总线仪器就以其优越的测试速度、可靠性、抗干扰能力和人机交互性能等, 吸引了各仪器厂商的目光, VXI 总线自动测试系统被迅速推广应用于国防、航空航天、气象、工业产品测试等领域, 截止到 1994 年, 生产 VXI 产品的厂商已有 90 多家, 产品种类超过 1 000 种, 安装的系统总数超过 10 000 套。

在个人仪器发展的过程中, 计算机软件在仪器控制、数据分析与处理、结果显示等方面所起的重要作用也越来越深刻地为人们所认识。1986 年, 美国国家仪器公司 (National Instrument, NI) 提出了虚拟仪器 (Virtual Instrumentation) 的概念。这一概念的核心是以计算机作为仪器的硬件支撑, 充分利用计算机的数据运算、存储、回放、调用、显示及文件管理等功能, 把传统仪器的专业功能软件化, 使之更加紧密地与计算机融为一体, 构成一种从外观到功能都与传统仪器相似, 但在实现时却主要依赖计算机软硬件资源的全新仪器系统。

到 20 世纪 90 年代, PC 机的发展更加迅速, 面向对象和可视化编程技术在软件领域为更多易于使用、功能强大的软件开发提供了可能性, 图形化操作系统 Windows 成为 PC 机的通用配置。虚拟现实、虚拟制造等概念纷纷出现, 发达国家更是在这一虚拟技术领域的研究上投入了巨资, 希望有朝一日能在它的带动下率先进入信息时代。在这种背景下, 虚拟仪器的概念在世界范围内得到广泛的认同和应用。美国 NI 公司、HP 公司、Tektronix 公司、Racal 公司等相继推出了基于 GPIB 总线、PC-DAQ (Data Acquisition) 和 VXI 总线等多种虚拟仪器系统。

在虚拟仪器得到人们认同的同时, 虚拟仪器的相关技术规范也在不断地完善。1993 年 9 月, 为了使 VXI 总线更易于使用, 保证 VXI 总线产品在系统级的互换性, GenRad、NI、Racal Instruments、Tektronix 和 Wavetek 公司发起成立了 VXI 即插即用 (VXIplug&play, VPP) 系统联盟, 并发布了 VPP 技术规范。作为对 VXI 总线规范的补充和发展, VPP 规范定义了标准的系统软件结构框架, 对 VXI 总线系统的操作系统、编程语言、仪器驱动器、高级应用软件工具、虚拟仪器软件体系结构 (VISA)、产品实现和技术支持等方面做了详细的规定, 从而真正实现了 VXI 总线系统的开放性、兼容性和互换性, 进一步缩短了 VXI 系统的集成时间, 降低了系统成本。VXI 总线系统也因此成为虚拟仪器系统的理想硬件平台, 完整的虚拟仪器技术体系已经建立起来。

为了进一步方便虚拟仪器用户对系统的使用和维护,解决测试软件的可重用和仪器的互换性问题,1997年春季,NI公司又提出了一种先进的可交换仪器驱动器模型——IVI (Interchangeable Virtual Instruments, 可互换式虚拟仪器)。1997年夏天,IVI基金会成立并发布了一系列IVI技术规范。在VPP规范的基础上,IVI规范建立了一种可互换的、高性能的、更易于维护的仪器驱动器,支持仿真功能、状态缓冲、状态检查、互换性检查和越界检查等高级功能。允许测试工程师在系统中更换同类仪器时,无需改写测试软件,也允许开发人员在系统研制阶段或价值昂贵的仪器没有到位时,利用仿真功能开发仪器测试代码,这无疑将有利于节省系统开发、维护的时间和费用,增加了用户在组建虚拟仪器系统时硬件选择的灵活性。目前,IVI技术规范仍在不断完善之中。

在虚拟仪器技术发展的初期,虚拟仪器系统主要采取三种结构形式:基于 GPIB 总线、PC-DAQ 或 VXI 总线,但这三种系统却都有各自的不足之处,GPIB 实质上是通过计算机对传统仪器功能的扩展和延伸,数据传输速度较低;PC-DAQ 直接利用了 ISA 总线或串行总线,没有定义仪器系统所需的总线;VXI 系统是将用于工业控制的 VME 计算机总线而建立的,价格昂贵,适用于大型或复杂仪器系统,应用范围集中在航空、航天、国防等领域。为适应虚拟仪器用户日益多样化的需求,1997年9月,NI公司推出了一种全新的开放式、模块化仪器总线规范——PXI (PCI eXtensions for Instrument),直接将 PC 机中流行的高速 PCI (Peripheral Component Interconnect) 总线技术、Microsoft Windows 操作系统和 CompactPCI (坚固 PCI) 规范定义的机械标准巧妙地结合在一起,形成了一种性价比极高的虚拟仪器系统。CompactPCI 是将 PCI 电气规范与耐用的欧洲卡机械封装及高性能连接器相结合的产物,这种结合使得 CompactPCI 系统可以拥有多达 7 个外设插槽。在享有 CompactPCI 的这些优点的同时,为了满足仪器应用对一些高性能的需求,PXI 规范还提供了触发总线、局部总线、系统时钟等资源,并且做到了 PXI 产品与 CompactPCI 产品可以双向互换。目前,PXI 模块仪器系统以其卓越的性能和极低的价格,吸引了越来越多的虚拟仪器界工程技术人员的关注。

从 20 世纪 80 年代 NI 公司提出虚拟仪器的概念至今只有短短的十余年时间,但虚拟仪器产品已占有了世界仪表仪器市场 10%左右的份额。从事仪器仪表研究和研制的科学家和工程师们清楚地认识到虚拟仪器不仅毋庸置疑的是 21 世纪仪器发展的方向,而且必将逐步取代传统的硬件化电子仪器,使成千上万种传统仪器都融入计算机体系中。到那时,电子仪器在广义上已不是一个独立的分支,而是已演变成为信息技术的本体。

1.1.2 自动测试技术的发展概况

随着现代科学技术和现代工业生产的发展,对电子测量和仪器技术的要求越来越高,测试内容和测试对象日趋复杂,测试工作量与日俱增,对测试速度和测试精度的要求不断提高,这使得传统的人工测试已经不适应甚至不满足实际测试的需求,采用自动测试系统成为必然的选择。

通常把以计算机为核心,能够在程序控制下,自动完成特定测试任务的仪器系统称为自动测试系统 (Automatic Test System, ATS)。

自动测试系统的研制工作最早可追溯到 20 世纪 50 年代美国为解决军方在军用电子设

备维护中遇到的问题而开展的 SETE 计划。到了 20 世纪 60 年代, 电子计算机开始用于测试领域, 自动测试技术也得以迅速地发展和普遍地应用, 其发展大致可分为三个阶段。

(1) 第一代自动测试系统

常见的第一代测试系统主要有数据采集系统、自动分析系统等。系统的控制采用计算机或其他一些简单的逻辑和定时电路。20 世纪 60 年代, 由于标准化、通用化的仪器产品还未出现, 设计和组建第一代自动测试系统时, 设计人员需要自行设计仪器与仪器、仪器与计算机之间的接口电路和相关的控制电路。当测试系统中用到的设备较多时, 系统研制的工作量很大、费用高, 系统的适应性和可扩展性也较差。

(2) 第二代自动测试系统

20 世纪 70 年代, 第二代自动测试系统出现了, 其中最具代表性的是 CAMAC 总线系统和 GPIB 总线系统。两者的共同特点是采用标准的总线接口, 系统中所用的计算机、程控仪器、开关等均配有标准化的接口电路。用统一的总线电缆将各器件连接起来。设计人员无需自行设计接口电路, 测试内容的更改、增删十分灵活, 测试速度和精度也大大提高。在测试系统使用完毕后, 可以拆下计算机和其他仪器设备移作它用。

(3) 第三代自动测试系统

20 世纪 80 年代中期, 随着智能仪器、个人仪器的发展, 计算机与测量仪器的结合更加紧密, 计算机软件不仅承担系统控制和通信功能, 也开始代替传统仪器中某些硬件的功能。在这种条件下, 虚拟仪器出现了。作为一种以计算机软件实现为核心的新型仪器系统, 虚拟仪器具有功能强、测试精度高、测量速度快、自动化程度高、人机界面优异、灵活性极强等优点。虚拟仪器系统通常被认为是第三代自动测试系统的同义语。

1.2 虚拟仪器的概念和特点

1.2.1 虚拟仪器的基本概念

虚拟仪器是指以通用计算机作为系统控制器、由软件来实现人机交互和大部分仪器功能的一种计算机仪器系统。虚拟仪器概念是对传统仪器概念的重大突破, 它的出现使测量仪器与个人计算机的界限模糊了。

与传统仪器不同, 虚拟仪器是由通用计算机和一些功能化硬件模块组成的仪器系统。在这种仪器系统中, 不仅仪器的操控和测量结果的显示是借助于计算机显示器以虚拟面板的形式来实现的, 而且数据的传送、分析、处理、存储都是由计算机软件来完成的, 这就大大突破了传统仪器仪表在这些方面的限制, 方便了用户对仪器的使用、维护、扩展和升级等。

虚拟仪器一词中“虚拟”有以下两方面的含义。

(1) 虚拟仪器面板

在使用传统仪器时, 操作人员是通过操纵仪器物理面板上安装的各种开关(通断开关、波段开关、琴键开关等)、按键、旋钮等来实现仪器电源的通断、通道选择、量程、放大倍数等参数的设置, 并通过面板上安装的发光二极管、数码管、液晶或 CRT(阴极射线管)等来辨识仪器状态和测量结果。

在虚拟仪器中, 计算机显示器是惟一的交互界面, 物理的开关、按键、旋钮以及数码

管等显示器件均由与实物外观很相似的图形控件来代替，操作人员通过鼠标或键盘操纵软件界面中这些控件来完成仪器的操控。

(2) 由软件编程来实现仪器功能

在虚拟仪器系统中，仪器功能是由软件编程来实现的。测量所需的各种激励信号可由软件产生的数字采样序列控制 D/A 转换器来产生；系统硬件模块不能实现的一些数据处理功能，如 FFT 分析、小波分析、数字滤波、回归分析、统计分析等，也可由软件编程来实现；通过不同软件模块的组合，还可以实现多种自动测试功能。

1.2.2 虚拟仪器的系统构成

如图 1-1 所示，虚拟仪器由硬件和软件两大部分构成。

虚拟仪器硬件通常包括通用计算机和外围硬件设备。通用计算机可以是笔记本电脑、台式计算机或工作站等。外围硬件设备可以选择 GPIB 系统、VXI 系统、PXI 系统、数据采集系统或其他系统，也可以选择由两种或两种以上系统构成的混合系统。其中，最简单、最廉价的形式是采用基于 ISA 或 PCI 总线的数据采集卡，或是基于 RS-232 或 USB 总线的便携式数据采集模块。

虚拟仪器的软件包括操作系统、仪器驱动器和应用软件三个层次。操作系统可以选择 Windows 9x/NT/2000、SUN OS、Linux 等。仪器驱动器软件是直接控制各种硬件接口的驱动程序，应用软件通过仪器驱动器实现与外围硬件模块的通信连接。应用软件包括实现仪器功能的软件程序和实现虚拟面板的软件程序。用户通过虚拟面板与虚拟仪器进行交互。

为了方便仪器制造商和用户进行仪器驱动器和应用软件的开发，HP、NI 等公司推出了专用于虚拟仪器开发的集成开发环境，目前流行的有 HP VEE、LabVIEW、LabWindows /CVI 等。

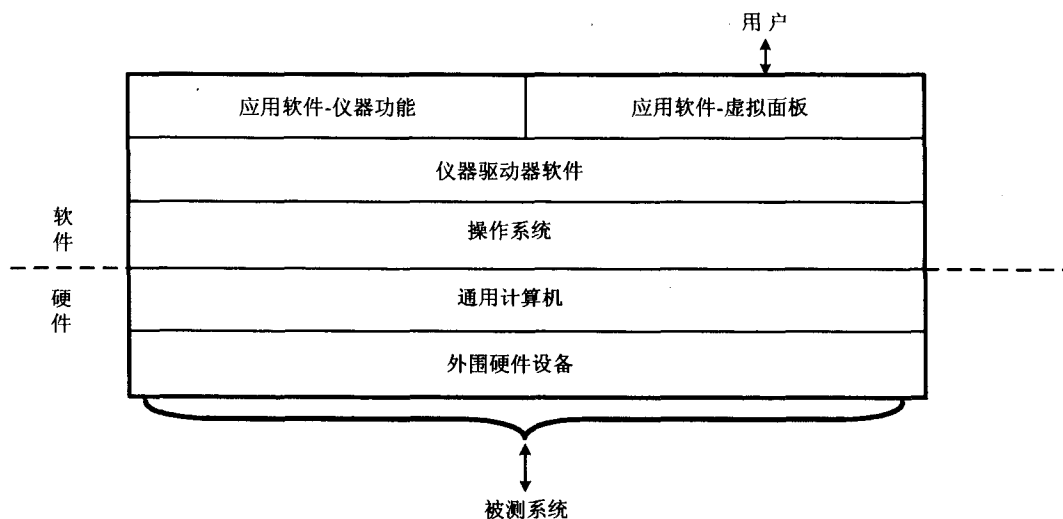


图 1-1 虚拟仪器的系统构成

1.2.3 虚拟仪器的特点

与传统仪器相比，虚拟仪器有以下一些特点。

1. 软件是核心

根据系统设计要求，在选定系统控制用计算机以及一些标准化的仪器硬件模块或板卡后，软件部分就成为构建和使用虚拟仪器的关键所在。其中，仪器驱动器软件的功能是实现与仪器硬件的接口和通信，应用软件则完成用户定义的测试和仪器功能，并提供人机交互界面。在进行应用程序开发时，可以利用 HP VEE、LabVIEW、LabWindows/CVI 等集成开发环境。可以看出，软件在虚拟仪器技术中占有十分重要的作用，NI 公司提出的“软件即仪器”（The Software is the Instrument）就是这一特点的形象概括。

2. 灵活性和可扩展性

虚拟仪器打破了传统仪器由厂家定义功能和控制面板、用户无法更改的模式。仪器用户可根据自己不断变化的需求，自由发挥自己的想像力，方便灵活地重组测量系统，系统的扩展、升级可随时进行，而且系统更新的周期短、见效快，能充分地满足用户在不同场合的应用需求。

3. 性价比高

虚拟仪器可以将传统仪器中一些由硬件完成的功能转为软件实现，减少了自动测试系统的硬件环节，降低了系统的开发成本和维护成本；虚拟仪器能够同时对多个参数进行实时高效的测量，信号传输大部分采用数字信号的形式，数据处理也主要依赖软件来实现，大大降低了环境干扰和系统误差的影响；用户可以随时根据需要调整虚拟仪器的功能，实现一机多用。因此，使用虚拟仪器比传统仪器更经济。

4. 良好的人机界面

虚拟仪器的操控界面是采用图形化编程技术实现的一种虚拟面板或称为软面板。虚拟面板可以模拟传统仪器面板的设计风格来设计，也可以由用户根据实际需求定制设计。测量结果可以通过计算机屏幕以曲线、图形、数据或表格等形式显示出来。

5. 与其他设备互联的能力

虚拟仪器通常具备标准化的总线或通信接口，具有与其他设备互联的能力。例如，虚拟仪器能够通过以太网与 Internet 相连，或者通过现场总线完成对现场设备监控和管理等。这种互联能力使虚拟仪器系统的功能显著增加，应用领域明显扩大。

概括起来，虚拟仪器与传统仪器的性能差别可以用表 1-1 来描述。

表 1-1 虚拟仪器与传统仪器的比较

虚 拟 仪 器	传 统 仪 器
关键是软件	关键是硬件
用户定义仪器功能	厂商定义功能
软件的应用使得开发与维护费用降至最低	开发与维护费用高
开放、灵活，与计算机技术保持同步发展	封闭、固定
技术更新周期短（1~2 年）	技术更新周期长（5~10 年）
与网络及其他周边设备互连方便	功能单一，互连能力有限
价格低、可复用、可重配置性强	价格昂贵

1.3 仪器与自动测试系统总线技术概述

1.3.1 总线的概念与分类

总线是信号或信息传输的公共路径。在大规模集成电路内各部分之间、一块插件板的各芯片之间、一个系统的各模板之间以及系统和系统之间，普遍采用总线进行连接。总线的种类繁多，结构多样，用途也各不相同。

总线的分类方法很多。按总线使用范围来分，可分为计算机总线、仪器或测控系统总线和网络通信总线。按总线的数据传送方式来分，有并行总线和串行总线，并行总线按一次传送数据的宽度可分为 8 位、16 位、32 位和 64 位总线等。按照总线的用途和应用场合，则可分为以下四类。

1. 片内总线

片内总线是指微处理器芯片内的总线，用于连接微处理器内部的各逻辑功能单元。总线的结构与功能设计由芯片生产厂家完成。

2. 片间总线

片间总线又称元件级总线，指一个微处理器应用系统中连接各芯片的总线。

为了保证数据传输的速度，传统的片间总线均采用并行方式，一般包括地址总线、数据总线和控制总线，即所谓的三总线结构。

近年来，随着集成电路制造工艺的发展，串行总线的数据传输速度已经可以达到数 Mbps，采用串行方式的片间总线也日益增多。特别是在新一代单片机系统中，串行片间总线得到了较为广泛的应用。例如 Motorola 公司的 SPI 总线（Serial Peripheral Interface，串行外围接口）、NS 公司的串行同步双工通信接口 MICROWIRE 和 Philips 公司的 I²C 总线（Inter IC bus，片间总线）。

3. 内总线

内总线又称板级总线，是微机系统内连接各插件板的总线。内总线通常采用并行方式，除了包括地址总线、控制总线和数据总线外，还包括电源线、地线及用于功能扩展的备用线等。

内总线的种类较多，如用于个人计算机的 PC/XT、PC/AT、ISA、EISA、MCA、PCI

等,用于工业控制的 STD、VME、CompactPCI 等,以及用于测控系统和仪器的 CAMAC、VXI、PXI 等。

4. 外总线

外总线又称通信总线,用于微机系统之间、微机系统与外设之间及微机系统与其他系统(如自动测试系统、仪器系统、控制系统等)之间的通信连接。大多数类型的外总线采用串行方式,少数也采用并行方式。

外总线的种类较多。例如,通用的 RS-232、RS-485、USB、IEEE 1394、SPP/EPP、SCSI 等,用于工业控制的现场总线 CAN、LONworks、FF 等,以及用于测控系统和仪器的 GPIB、CAMAC、HP-IL、MXI 等。

1.3.2 总线系统的优越性

采用总线结构的微机系统、测控和仪器系统与采用非总线结构的系统相比,在系统设计、生产、使用和维护等方面具有很多优越性,这也是总线技术得以迅速发展的原因。这种优越性概括起来有以下几点。

1. 易于实现模块化硬件设计

采用总线技术进行系统设计时,设计者可根据系统总体要求,将一个复杂的大系统分成若干功能子系统或功能模块,然后通过总线将这些子系统或功能模块联系起来,按一定的规则协调工作。这种模块化的硬件设计方法,可以降低系统的复杂程度,提高系统的灵活性,降低系统产品生产、调试、维修的难度。

2. 多厂商产品支持

多数总线技术规范都是由一些国际标准化组织或技术联盟制定并公开颁布的,没有版权或知识产权方面的问题。各国的生产厂商只要认为有市场需要,就可以设计、生产符合某种总线规范的功能模板和配套的软件,不断促进符合这种总线规范产品的发展,提高它的性能。最终使广大用户从中受益。

3. 便于组织生产

总线式模块化结构的产品与系统的联系仅有总线,各模块之间有一定的独立性,易于实现专业化生产,产品的性能和质量能够得到充分保证。由于模板功能较为单一,产品调试和维护也较为简单,对工人的技术水平要求较低,便于组织大规模生产,降低产品造价。

4. 易于实现系统升级

现代的电子技术发展很快,产品的升级、换代也日益频繁。对于总线型系统,只需要更换某一块或某几块功能模板、甚至个别器件就能实现系统升级,而不必对系统做大的更改。

5. 良好的可维修性

总线式或模块化设计的产品,易于实现故障定位。一旦发现某块模板有故障,立即将其换掉,系统就能很快重新投入运行。