

虚拟仪器基础教程

袁渊 古军 编著

电子科技大学出版社

虚拟仪器基础教程

袁 渊 古 军 编著

电子科技大学出版社

虚拟仪器基础教程

袁 渊 古 军 编著

出 版：电子科技大学出版社 （成都建设北路二段四号，邮编 610054）

责任编辑：吴艳玲

发 行：新华书店经销

印 刷：四川导向印务有限公司

开 本：787×1092 1/16 印张 13.5 字数 328 千字

版 次：2000 年 12 月第一版

印 次：2000 年 12 月第一次

书 号：ISBN 7—81065—611—2/TH·7

印 数：1—4000 册

定 价：15.00 元

内 容 提 要

本书主要介绍虚拟仪器的基本原理以及软件开发技术，本书以图形化编程的 LabVIEW 为虚拟仪器软件开发平台，讲述软件设计的方法，并结合数据采集卡来组建虚拟仪器系统。全书共分十一章，由浅入深地介绍了虚拟仪器（VI）程序及子程序的建立、调用、编辑和调试，循环、Case、Sequence 等多种结构的使用，数组、图表、图形的建立及文件 I/O 的操作，介绍了多功能数据采集卡以及以它为基础的 LabVIEW 软件编程，来设计一个虚拟仪器系统，进行实时数据采集和结果显示。最后一章讨论了虚拟仪器的设计实例。为帮助读者理解和掌握，本书力求叙述详尽、图文并茂，并且穿插了大量的练习。

本书可作为测试技术、仪器仪表、工业控制、计算机应用、电气、机械、振动工程等专业本、专科生的教材，也可供相关专业的工程技术人员参考或作为培训教材。

前 言

随着电子科学技术的发展，微电子集成电路技术、计算机技术、通信技术、测控技术互相渗透，互相融合而形成了新兴的电子信息技术。新的理论和技术不断出现，知识不断创新，高新技术成果不断产业化，新的元器件、系统模块、各种信息产品、软件产品、数码产品和网络产品层出不穷。产业结构发生了深刻的变化，在以计算机、通信、微电子等为主体的信息工业周围汇聚了家电工业、消费电子工业、知识产业集团和信息服务业，形成了一个庞大的信息产业。21 世纪将步入知识经济时代，电子信息业的发展对知识经济起着巨大的推动作用。在电子信息体的科学研究和新产品开发过程中，不断涌现出新的设计思想和设计工具，新的开发手段和开发系统，新的测试理论方法和测试仪器系统，实验研究技术和手段日新月异。

虚拟仪器技术的出现给现代测试技术带来了一场革命，虚拟仪器技术是测试技术和计算机技术相结合的产物，是两门学科的最新技术的结晶，融合了测试理论、仪器原理和技术、计算机接口技术、高速总线技术以及图形化软件编程技术于一身，实现了测量仪器的智能化、多样化、模块化和网络化，体现出多功能、低成本、应用灵活、操作方便等优点，在很多领域大有取代传统仪器的趋势，成为当代仪器发展的一个重要方向，并受到各国企业界的高度重视。

软件是虚拟仪器的关键，仪器的各种功能是通过软件来实现的。在虚拟仪器软件平台的发展上，美国 NI 公司的 LabVIEW 和 LabWindows/CVI 颇具代表性。本书介绍的图形化编程的虚拟仪器开发平台 LabVIEW，同传统的文本编程语言相比，LabVIEW 图形编程方式简明快捷，易学易用，可节省大量的学习程序设计及进行程序开发的时间，尤其适合从事科研、开发的科学工作者、工程技术人员。

由于虚拟仪器技术是一门新技术，发展不过十几年，在我国才刚刚起步，目前国内尚没有系统介绍虚拟仪器及 LabVIEW 的书籍，为此我们参考了大量的文献资料，在各方面的大力支持下，我们编写此书以满足教学需要，也希望能给从事相关专业的工程技术人员一定的帮助。

本书编者多年从事虚拟仪器教学，积累了一定的教学经验。在教材的编写上力求符合读者的思维习惯，由浅入深，层次分明，条理清晰。本书共分十一章，第一章首先引入虚拟仪器的概念；第二章至第九章主要介绍 LabVIEW 程序设计；第十章介绍数据采集卡的概念和使用以及如何通过 LabVIEW 编程来进行实地信号采集和分析；第十一章介绍两个虚拟仪器设计实例，让读者充分体会由虚到实的过程，充分感受虚拟仪器的实用性和强大生命力。

本书第一、二、八、九、十、十一章由袁渊同志编写，第三、四、五、六、七章由古

军同志编写。在本书的编写过程中，得到了张红莉等多位老师的大力支持和帮助，为本书的正式出版付出了辛勤的劳动，在此表示深深的感谢。尤其衷心地感谢古天祥教授，他对本书的内容选取、结构组织和阐述方法等花费了大量的心血，并审阅和修改了全书内容。

本书适合 50 学时的课堂教学，其中第二章至第九章为软件编程部分，涉及到大量的窗口、菜单及鼠标操作，教学形式宜采用屏幕投影、教师演示的方式，第十章和第十一章涉及到真实信号采集，除了要配备数据采集卡外，还应配备示波器、信号源、数字万用表等传统仪器，用作信号产生和对虚拟仪器测量结果的验证。

由于本书编者水平有限，加之时间仓促，书中难免会有错误，恳请各位师生和同行多提宝贵意见，以便我们能够及时纠正书中的错误，并作进一步的完善。

编 者
2000 年 8 月

目 录

第一章 虚拟仪器概述.....	1
§1-1 什么是虚拟仪器	1
§1-2 虚拟仪器的基本功能	2
1.2.1 信号调理与采集功能.....	2
1.2.2 数据分析和处理功能.....	2
1.2.3 参数设置和结果表达.....	2
§1-3 虚拟仪器的基本工作原理	2
1.3.1 用户（人-机）接口部分	3
1.3.2 信号（机-机）接口部分	3
1.3.3 控制与处理部分.....	3
§1-4 虚拟仪器软件	3
§1-5 虚拟仪器系统的构成	4
§1-6 虚拟仪器的发展	5
§1-7 虚拟仪器的特点	5
第二章 LabVIEW 概述.....	7
§2-1 概述.....	7
§2-2 LabVIEW 程序设计的一般过程	8
§2-3 LabVIEW 的工作环境.....	9
2.3.1 启动界面.....	9
2.3.2 前面板窗口和框图窗口.....	10
2.3.3 前面板工具栏.....	12
2.3.4 框图程序工具栏.....	13
2.3.5 弹出式菜单.....	13
2.3.6 下拉式菜单.....	13
2.3.7 模板.....	16
2.3.8 VI 库.....	20
2.3.9 打开 VIs 程序.....	21
2.3.10 保存 VI 子程序	21
2.3.11 LabVIEW 的文件和目录	22
2.3.12 LabVIEW 帮助选项.....	22
§2-4 总结、要点和技巧	24
§2-5 练习.....	24

第三章 VI 程序的创建、编辑和调试	26
§3-1 VI 程序的创建	26
3.1.1 前面板	26
3.1.2 框图程序	27
练习 3-1	30
§3-2 VI 程序的编辑	32
3.2.1 创建对象	32
3.2.2 选择对象	32
3.2.3 移动对象	33
3.2.4 删除对象	33
3.2.5 复制对象	33
3.2.6 标注对象	33
3.2.7 连线的选中和删除	33
3.2.8 坏线	34
3.2.9 改变文本的字体、形状、大小、颜色	35
3.2.10 改变对象的尺寸大小	35
3.2.11 排列对象	35
3.2.12 调色	35
练习 3-2	36
§3-3 VI 程序的调试技术	39
3.3.1 查找错误	39
3.3.2 设置执行程序高亮	39
3.3.3 VI 程序的单步执行	39
3.3.4 探针	40
3.3.5 断点	40
练习 3-3	40
§3-4 总结、提示和技巧	43
3.4.1 总结	43
3.4.2 提示及技巧	43
练习 3-4	46
练习 3-5	46
第四章 VI 子程序的创建	47
§4-1 VI 子程序的基本概念	47
§4-2 图标和连接口的创建	48
4.2.1 图标的创建	48
4.2.2 连接口的创建	50
§4-3 将一个 VI 程序作被调用的子程序	53

4.3.1	VI 子程序的打开、运行和改变	53
4.3.2	VI 子程序节点的在线帮助	54
练习 4-1.....		55
练习 4-2.....		61
§4-4	总结、提示和技巧	63
第五章	循环和图表.....	64
§5-1	While 循环.....	64
§5-2	波形 Chart.....	65
5.2.1	单曲线 Chart.....	66
5.2.2	多曲线 Chart.....	67
练习 5-1.....		67
§5-3	Boolean 开关的机械作用	69
练习 5-2.....		71
练习 5-3.....		72
§5-4	移位寄存器	76
练习 5-4.....		77
练习 5-5.....		78
§5-5	For 循环.....	82
§5-6	数值转换	83
练习 5-6.....		84
§5-7	总结、提示及技巧	84
练习 5-7.....		85
练习 5-8.....		85
练习 5-9.....		85
第六章	数组和图像.....	86
§6-1	数组.....	86
6.1.1	创建数组控制器和指示器.....	86
6.1.2	二维数组.....	87
6.1.3	创建数组常量.....	87
§6-2	利用循环创建数组	88
6.2.1	创建二维数组.....	89
6.2.2	利用自动索引来设置 For 循环次数.....	89
§6-3	数组函数	90
§6-4	多态性	92
练习 6-1.....		93
§6-5	Graphs.....	96
6.5.1	簇.....	97

6.5.2 单曲线图形.....	97
6.5.3 多曲线图形.....	98
6.5.4 XY Graphs	98
练习 6-2.....	99
练习 6-3.....	105
练习 6-4 (选作)	108
§6-6 Chart 和 Graph 使用总结	109
6.6.1 波形 Chart.....	109
6.6.2 单曲线波形 Graph.....	110
6.6.3 多曲线波形 Graph.....	110
6.6.4 单曲线 XY Graph.....	111
6.6.5 多曲线 XY Graph.....	111
§6-7 要点总结和技巧	111
练习 6-5.....	112
练习 6-6.....	112
练习 6-7.....	112
练习 6-8.....	112
练习 6-9.....	112
第七章 Case 结构和 Sequence 结构	113
§7-1 Case 结构.....	113
练习 7-1.....	115
练习 7-2.....	116
§7-2 Sequence 结构	118
练习 7-3.....	119
§7-3 公式节点	122
练习 7-4.....	124
§7-4 总结、要点和技巧	125
练习 7-5.....	126
练习 7-6.....	126
练习 7-7.....	126
练习 7-8.....	126
第八章 字符串和文件 I/O	127
§8-1 字符串	127
§8-2 字符串函数	128
练习 8-1.....	132
§8-3 文件 I/O	134
8.3.1 中层文件函数.....	135

练习 8-2.....	139
练习 8-3.....	140
练习 8-4.....	142
练习 8-5.....	146
练习 8-6（综合练习）	148
§8-4 总结、要点和技巧	149
练习 8-7.....	150
练习 8-8.....	150
练习 8-9.....	150
第九章 VI 选项设置	151
§9-1 VI Setup 选项	151
9.1.1 Execution Options（执行选项）	151
9.1.2 Window Options（窗口选项）	152
9.1.3 Documentation（文件选项）	153
§9-2 子 VI 的节点设置	154
练习 9-1.....	155
§9-3 按键设置（Key Navigation）	159
§9-4 总结、要求和技巧	159
第十章 数据采集.....	160
§10-1 概述	160
§10-2 PCI-1200 数据采集卡.....	160
§10-3 数据采集系统组件	163
§10-4 模拟输入	164
§10-5 数据采样硬件配置	166
练习 10-1.....	167
§10-6 数据采集程序的构成	171
10.6.1 Easy I/O VIs.....	172
10.6.2 Intermediate VIs.....	172
10.6.3 Advanced VIs.....	172
10.6.4 Utility VIs	172
§10-7 模拟输入	173
10.7.1 Waveform Input（波形输入）	173
练习 10-2.....	174
练习 10-3.....	175
练习 10-4.....	175
§10-8 模拟输出	178
10.8.1 Waveform Generation	178
练习 10-5.....	179

练习 10-6.....	181
§10-9 多路模拟输入通道的扫描	182
10.9.1 扫描到的波形和波形曲线.....	183
练习 10-7.....	184
练习 10-8.....	184
§10-10 数字信号的输入和输出	185
练习 10-9.....	187
§10-11 总结、要点和技巧	188
第十一章 虚拟仪器设计实例.....	189
§11-1 数字电压表的设计	189
11.1.1 前面板设计	189
11.1.2 框图程序设计	190
11.1.3 软件调试.....	192
11.1.4 误差分析	193
§11-2 数字双踪示波器的设计	194
11.2.1 前面板设计	194
11.2.2 框图程序设计	195
11.2.3 软件调试.....	204
参考文献	205

第一章 虚拟仪器概述

§ 1-1 什么是虚拟仪器

传统的电子仪器如示波器、电压表、频率计、信号源等，是由专业厂家生产的具有特定功能和仪器外观的测试设备。

虚拟仪器(Virtual Instrument, 简称 VI)是以计算机为基础，配以相应测试功能的硬件作为信号输入输出的接口，利用虚拟仪器软件开发平台(如 LabVIEW、LabWindows/CVI)在计算机的屏幕上虚拟出仪器的面板(包括显示器、指示灯、旋钮、开关、按键等)以及相应的功能(见图 1-1 虚拟示波器的实例)，人们通过鼠标或键盘操作虚拟仪器面板上的旋钮、开关和按键，去选用仪器功能，设置各种工作参数，启动或停止一台仪器的工作。在计算机软件控制下对输入的信号进行采集、分析、处理，测量结果(数据、波形)和仪器工作状态可从虚拟仪器面板上读出。用户在屏幕上通过虚拟仪器面板对仪器的操作如同在真实仪器上的操作一样直观、方便、灵活。

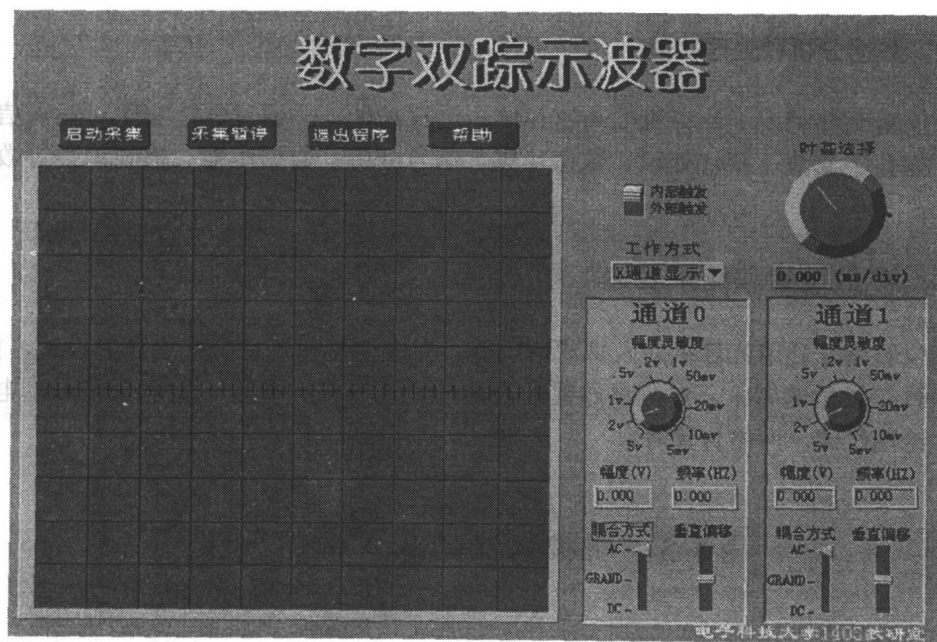


图 1-1 虚拟仪器面板实例——数字示波器

也许有人会以为虚拟仪器是一种纯模拟仿真的软件，只是在计算机上进行一些虚幻的

仪器操作，不是真实的。其实不然，虚拟仪器的面板虽是在计算机屏幕上虚拟的，但所见即所得的功能却是实实在在的，它对被测对象进行激励、测量、处理和显示，是与传统仪器完全一样的。

§ 1-2 虚拟仪器的基本功能

任何一台仪器无非由三大功能块组成：信号的采集、数据的处理、结果的输出。虚拟仪器也不例外，它也是按照“信号的调理与采集（ADC）——数据的分析与处理（DSP）——结果的输出（DAC）及显示”的结构模式来建立通用仪器硬件平台的，在这个通用仪器硬件平台上，调用不同的测量软件就构成了不同功能的仪器。因此，虚拟仪器系统是由计算机、仪器硬件和应用软件三大要素构成的，计算机与仪器硬件又称为 VI 的通用仪器硬件平台。

1.2.1 信号调理与采集功能

对被测信号进行调理和采集是虚拟仪器的基本功能。此项功能主要是由虚拟仪器的硬件平台完成的。仪器硬件可以是插入式数据采集卡及必要的外围电路（含信号调理电路、A/D 转换器、数字 I/O、定时器、D/A 转换器等），或者是带标准总线接口的仪器，如 GPIB、VXI、PXI、STD、PC/104 总线仪器和网络化仪器等。

1.2.2 数据分析和处理功能

虚拟仪器充分利用了计算机的高速存储、运算功能，并通过软件实现对输入信号的分析处理，如数字滤波、统计处理、数值计算、信号分析、数据压缩、模式识别等数字信号处理。

1.2.3 参数设置和结果表达

虚拟仪器充分利用计算机的人机对话功能，完成仪器的各种工作参数的设置，如功能、频段、量程等参数的置入，对测量结果的表达与输出有多种方式，如屏幕显示，电、磁、光存储，绘图打印，网络传输等。

§ 1-3 虚拟仪器的基本工作原理

虚拟仪器完成上述三大功能的原理框图如图 1-2 所示，工作过程如下：首先用户通过虚拟仪器面板设置好仪器功能、量程、频段等工作参数后，启动仪器进行测量。在计算机控制下，被测对象经仪器部分的调理和采集后变成数据，再经过计算机处理，其结果送

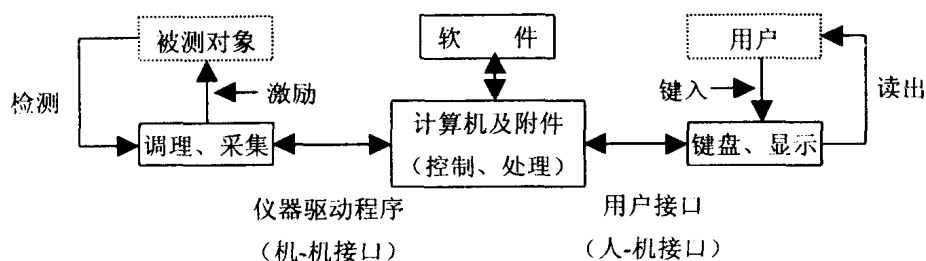


图 1-2 虚拟仪器的原理框图

显示，由用户读取或打印输出。因此虚拟仪器的基本组成应包含：

1.3.1 用户（人-机）接口部分

此部分完成参数设置和结果显示等人-机对话功能。其硬件有鼠标、键盘、显示器、打印机、绘图仪等，其软件有用户界面。

1.3.2 信号（机-机）接口部分

此部分完成信号调理和数据采集功能。它的硬件主要由测量仪器的模拟电路为主构成。由于被测对象是各种各样的，有电或非电的物理量、化学量、生物量等，由于这些被测对象千差万别，因此在采集前通常要进行非电量到电量的变换（各式传感器）、幅度（放大、衰减）、频率（混频、检波、滤波）、阻抗（高阻、低阻、匹配）、隔离、激励（交直流源、恒压恒流源）等各种调理，使之到采集板时为归一化的模拟电信号，最后再由采集板进行 A/D 变换。此外，信号接口部分通常还含 D/A 变换、定时/计数、数字 I/O 等功能模块。这部分的软件称为仪器（或设备）驱动器。

1.3.3 控制与处理部分

此部分硬件包括各种高性能的计算机（笔记本机、PC 机、工控机、工作站等）及附件。其软件为控制、分析、处理程序。

§ 1-4 虚拟仪器软件

虚拟仪器可以在相同的硬件平台下，通过不同的软件就可以实现功能完全不同的各种仪器，即软件是虚拟仪器的核心，因此可以说“软件就是仪器”。

在当今，编写软件普遍采用面向对象的编程技术，从标准的 C 语言发展到 C++，虽说是编程技术的一大进步，但编程难度却大大增加了，不可能让非计算机专业的工程人员都去学复杂的 C++，去成为行业专家和编程专家！可视化编程语言环境 VISUAL 系列的推出，为简化计算机编程迈出了可喜的一步。但对一个普通的计算机用户来说，计算机作为一种

工具，如果使用起来很麻烦、很困难，自然也就失去了工具的意义。因此，不少的软件先驱者一直在简化计算机编程技术方面不懈努力，出现了一种崭新的图形化编程语言，即其源程序就是图形化的框图，而不是文本代码，这一点不同于 VISUAL 编程语言，这种编程方式简明快捷，易学易用，不仅界面友好，更重要的是可节省大量的程序开发时间，使程序设计人员着眼于测量方案的设计，而不需要关心仪器的程控代码。如 NI 公司推出的虚拟仪器软件开发平台 LabVIEW 和 HP 公司推出的 VEE 均属这类软件。

根据仪器的三大功能，设计仪器必须解决好人机接口（即用户接口）和机机接口（即计算机与仪器模块接口）。因此虚拟仪器软件有三个主要功能，即提供一个集成的开发环境、一个与仪器硬件的高级标准接口和一个与用户图形的接口。VI 的标准软件有两大类：编程设计的软件，如 NI 公司的 LabVIEW 或 LabWindows/CVI；仪器驱动程序与用户接口开发工具软件，主要软件模块有数据采集、数据分析、数据显示、文件管理、硬件拷贝输出等。常用的虚拟仪器开发环境有 NI 公司的 LabVIEW、LabWindows/CVI 和 HP 公司的 VEE 以及 VB、VC++、Delphi 等。

NI 公司推出的虚拟仪器开发平台 LabVIEW 是一种易学易用、功能强大的图形化开发软件，不需要懂得其他编程语言就可以学习使用，它面对的是没有编程经验的用户，非常适合从事科研、开发的科学工作者和工程技术人员；而 LabWindows/CVI 是基于 C 语言的开发平台，面对的是熟悉 C 语言的用户，在程序设计上它具有更强的灵活性。本书着重介绍 LabVIEW 软件开发平台。

§ 1-5 虚拟仪器系统的构成

虚拟仪器系统构成的基本框图如图 1-3 所示。

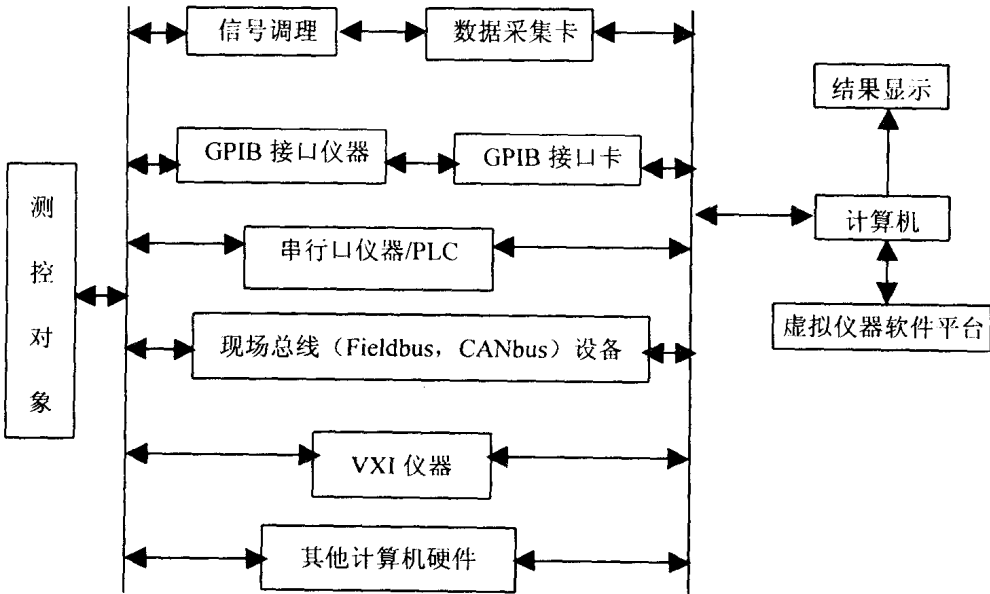


图 1-3 虚拟仪器系统组成框图

图 1-3 表明, 虚拟仪器系统有多种构成方式:

- PC-DAQ 测量系统: 是以数据采集卡、信号调理电路及计算机为仪器硬件平台组成的。
- GPIB 系统: 是以 GPIB 标准总线仪器与计算机硬件平台组成的测试系统。
- VXI 系统: 是以 VXI 标准总线仪器与计算机硬件平台组成的测试系统。
- 串口系统: 是以 Serial 标准总线仪器与计算机硬件平台组成的测试系统。
- 现场总线系统: 是以 Fieldbus 标准总线仪器与计算机硬件平台组成的测试系统。

§ 1-6 虚拟仪器的发展

虚拟仪器技术的开发与应用源于 1986 年美商国家仪器公司——NI 公司 (National Instruments Corporation) 设计的 LabVIEW, 它是一种基于图形的开发、调试和运行程序的集成化环境, 实现了虚拟仪器的概念。这一概念的核心是: 以计算机作为仪器统一的硬件平台, 充分利用计算机的运算、存储、处理、显示以及文件管理等智能化功能来管理仪器, 组织仪器系统, 把传统仪器的专业化功能和面板控件软件化, 采用数据采集与传感器相结合的方式, 构成一台从外观到功能与传统硬件仪器相同, 同时又充分享用计算机智能资源的全新的仪器系统。

在虚拟仪器的发展史上, 有不少国外厂商如美国 HP 公司、泰克公司、PC 仪器公司以及国内许多高等学校也加入了研制虚拟仪器的行列。国际上自 1986 年虚拟仪器问世以来得到飞速发展, 1994 年 VI 制造厂家达 90 余家, 生产 1000 多种虚拟仪器产品。其中美国 NI 公司最具代表性, 它不仅能够提供虚拟仪器系统所需的各种硬件产品 (包括各种数据采集产品, 各种 GPIB 仪器控制产品及各种 VXI 仪器控制产品等), 而且能够为不同层次的用户提供简单方便的虚拟仪器软件开发平台, 如 LabVIEW、LabWindows/CVI 等。此外, 美国惠普 (HP) 公司也推出了数十至数百种虚拟仪器的组建单元和整机以及虚拟仪器的软件开发平台 HP-VEE 和 HP-ITG, 用户可用它组建或挑选自己所需的仪器。除此之外, 如 Tektronix 公司, Racal 公司等也相继推出了多种虚拟仪器。

虚拟仪器的出现和兴起, 改变了传统仪器的概念、模式和结构, 并以其特有的优势显示出强大的生命力。

§ 1-7 虚拟仪器的特点

虚拟仪器具有如下特点:

(1) 性价比高。规模经济效益使通用个人计算机具有很高的性价比, 而且基于个人计算机的虚拟仪器和仪器系统可共享计算机硬件资源, 从而大大增强仪器功能和降低仪器的成本。传统仪器小而全, 而且各仪器的资源不能共享。虚拟仪器把传统仪器的公共部分如显示、存储、控制、打印、通信等都由计算机来完成, 即无论任何功能的仪器都可利用或