



高等学校适用教材

虚拟仪器

秦树人 主编

X U N I

Y I Q I



中国计量出版社
CHINA METROLOGY PUBLISHING HOUSE



高等学校适用教材

虚拟仪器

主编 秦树人
编委 汤宝平 崔天祥
胡毅 李威宣

中国计量出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

虚拟仪器/秦树人主编. —北京: 中国计量出版社, 2003.12

高等学校适用教材

ISBN 7-5026-1775-2

I. 虚… II. 秦… III. 智能仪器—高等学校—教材 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 099663 号

内 容 提 要

本教材是编者在本领域的研究成果与教学经验的基础上参考国外同领域典型材料编写而成的。本教材重视对物理概念和工程应用的阐述, 全书条理清晰、分析透彻、铺排有度、重点突出, 内容符合教材的要求。

本教材共 8 章, 内容包括: 导论、虚拟仪器的数据采集系统、虚拟仪器中的数据处理方法、虚拟仪器的显示输出系统、虚拟仪器的开发系统、网络化虚拟仪器以及虚拟式测试与分析仪和虚拟式控制仪等。理工科中不同专业可根据自己不同的教学要求, 选讲有关章节。

本书可作为高等院校理工科 (除无线电通讯及高频电子工程外) 各专业高年级学生及研究生的选修课程教材。对于目前从事虚拟仪器研发和使用的科技人员也是一本很好的参考书。

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 × 960 mm 16 开本 印张 22.5 字数 394 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

*

印数 1—3 000 定价: 35.00 元

前 言

20 世纪 80 年代中期出现的虚拟仪器 (Virtual Instrument, 简称 VI) 是虚拟技术在仪器仪表领域中的一个重要应用, 是日益发展的计算机硬件、软件和总线技术在向其他技术领域密集渗透的过程中, 与测试技术、仪器技术密切结合, 共同孕育出的一项新成果。20 世纪 80 年代中期美国的国家仪器公司 (National Instruments Corporation, 简称 NI) 首先提出了虚拟仪器的概念, 认为虚拟仪器是由计算机硬件资源、模块化仪器硬件和用于数据分析、过程通讯及图形用户界面的软件组成的测控系统, 是一种由计算机作为统一硬件平台, 并由计算机操纵的模块化、软件化的仪器。

目前, 美国的 LabVIEW 可视化图形编程系统和中国的 VMIDS 虚拟仪器开发系统已经开发组建成功数十种通用和专用的虚拟式测控仪器, 并在生产、科研和教学中获得广泛使用, 虚拟仪器作为一种新的仪器模式已经显示了它巨大的优越性和旺盛的生命力。有专家估计, 随着计算机硬、软件技术的快速进步, 虚拟仪器会随之在本世纪前 10 年内获得迅猛发展, 到 2010 年前后电测电控仪器中的 50% 以上将会是虚拟仪器, 虚拟仪器不容置疑地将成为 21 世纪测控仪器的重要发展方向。

由于虚拟仪器覆盖面宽, 并已获得广泛应用, 因此培养虚拟仪器的设计、研究、开发、使用等方向的专业人材, 不仅是时代的要求, 也是工作的需要。为了实施这一人才培养工程, 除保持这一领域现有的培训、讲座、网上教育之外, 最迫切的是迅速在大专院校开设“虚拟仪器”这一课程, 向理、工科有关专业的大学生、研究生进行“虚拟仪器”系统知识的传授和相关技术的训练, 为这一全新的高技术领域培养正规的技术人才。

本书是根据教育部“十五”高校教材建设规划, 由国家质量监督检验检疫总局政策法规宣传教育司组织召开的“测控技术与仪器”专业高校教材编写工作会议确定, 为全国高校“测控技术与仪器”专业而编写的专业教材。由于本教材在国内是第一次编写, 因此在材料使用、体系的编排等方面几乎没有现成的借鉴, 整个编写过程处于探索阶段。本书的编者希望理工科有关专业师生在试用这一教材的过程中能提出问题和意见, 编者将根据提出的问题和意见进行订正和改进, 相信经过一段时间的使用, 这本教材一定会逐步完善起来。

本教材由重庆大学秦树人教授担任主编, 重庆大学汤宝平教授、哈尔

滨工业大学崔天祥副教授、合肥工业大学胡毅副教授、武汉理工大学李威宣副教授担任编委。本教材是在全体编委通力合作下共同完成的。

重庆大学钟佑明博士、季忠博士、金涛博士以及博士生柏林、周传德、尹爱军、郭瑜、王见、万向奎，硕士生谢亭亭、温辉宏参加了本教材的修改和校对工作。

凡教材参考过的文献均一一列于每章的末尾，供读者查阅。

对于本书中的纰漏、错误和种种问题欢迎读者来信、来电提出建议、批评和指正。

秦树人

2004年1月于

重庆大学测试中心

目 录

第 1 章 导论	(1)
第一节 测试测量仪器的发展概况	(1)
第二节 虚拟仪器的原理及系统	(3)
第三节 虚拟仪器中的硬件装置	(12)
第四节 本教材的内容和要求	(14)
参考文献	(16)
思考与练习	(16)
第 2 章 虚拟仪器的数据采集系统	(17)
第一节 数据采集系统概述	(17)
第二节 信号调理原理	(22)
第三节 数据采集原理	(34)
第四节 仪器的标准总线系统	(42)
第五节 基于 PC 的总线系统	(50)
第六节 基于 PC 总线的数据采集系统的设计	(66)
第七节 带有 DSP 的数据采集系统	(81)
参考文献	(98)
思考与练习	(98)
第 3 章 虚拟仪器中的数据处理方法	(99)
第一节 数据预处理原理	(100)
第二节 数字信号时域分析	(114)
第三节 数字信号频域分析	(121)
第四节 数字信号时频分析	(128)
参考文献	(136)

思考与练习	(137)
第 4 章 虚拟仪器的显示输出系统	(138)
第一节 二维图形显示	(138)
第二节 三维图形显示	(144)
第三节 虚拟仪器的面板显示	(152)
参考文献	(153)
思考与练习	(154)
第 5 章 虚拟仪器的开发系统	(155)
第一节 常见的虚拟仪器开发系统	(156)
第二节 VMIDS (中国) 虚拟仪器开发系统	(157)
第三节 LabVIEW (美国) 图形编程系统	(180)
第四节 VEE (美国) 图形编程系统	(200)
参考文献	(207)
思考与练习	(207)
第 6 章 网络化虚拟仪器	(209)
第一节 网络的基本概念	(210)
第二节 网络化仪器与网络化虚拟仪器	(213)
第三节 网络化虚拟仪器的功能	(218)
第四节 网络化虚拟仪器的开发与管理	(220)
第五节 网络化虚拟仪器的应用	(233)
参考文献	(243)
思考与练习	(243)
第 7 章 虚拟式测试与分析仪	(244)
第一节 虚拟式记忆示波器	(244)
第二节 虚拟式温度、流量测量仪	(251)
第三节 虚拟式扭矩、功率测试仪	(260)
第四节 虚拟式电量测量仪	(265)
第五节 虚拟式信号分析仪	(270)
第六节 虚拟式阶比分析仪	(282)
第七节 虚拟式结构模态分析仪	(288)
第八节 虚拟式设备管理与预测维修分析仪	(295)
第九节 虚拟式噪声分析仪	(299)
第十节 虚拟式音频分析仪	(306)

第十一节 虚拟式医电分析仪	(315)
参考文献	(324)
思考与练习	(325)
第 8 章 虚拟式控制仪	(326)
第一节 虚拟式过程控制仪	(327)
第二节 应用举例	(339)
参考文献	(352)
思考与练习	(352)

第 1 章

导 论

测试与测量是人类认识自然界客观事物并对这些事物的若干现象进行量化从而取得深入认识其本质的必不可少的手段。测试测量仪器则是实现测试测量的基本工具。为了充分认识和了解本书将要介绍的虚拟仪器,这里首先对测试测量仪器的发展作一简要回顾。

第一节 测试测量仪器的发展概况

迄今为止,测试测量仪器的发展大致经历了四个阶段。

1. 模拟仪器

18 世纪末至 20 世纪初,科学家在发现描述物理现象的定律之后,发明了基于物理定律的模拟式仪表。早期的基于物理定律的模拟式仪表,最典型的有伏特表、安培表、功率表、压力表和测温仪以及随后发明的电桥、电位差计等磁电式模拟仪表。这些仪表虽很简单但都解决了当时许多物理量的测量问题。

自 20 世纪初至 50 年代,测量仪器仪表的材料及零部件的性能有了较大的发展,出现了电子管、离子管这类全新的电子器件。同时,测试测量的理论和方法与新兴的电子技术、控制技术相结合,又出现了电子仪器仪表,产生了以记录仪、电子示波器、信号发生器等为代表的模拟式电子仪器。

2. 数字仪器

随着晶体管与集成电路的出现,数字技术在测试测量仪器中获得成功的应用。20 世纪 50 至 60 年代出现的数字式仪表如数字电压表、数字电流表、数字频率计、数显表、记忆示波器等是第二代数字式测量仪器的典型

代表。

数字式仪器的特点是将模拟信号的测量转变为对数字信号的测量并以数字形式显示和输出测量结果。这类仪器特别适用于要求快速响应和高精度的测量领域。

3. 智能仪器

在数字式仪器中置入微处理器,将计算机技术与仪器仪表技术紧密结合,使仪器具有数据存贮、数据处理(即运算)、逻辑判断、自动选程、自动补偿、仪器自检等功能,从而部分取代人脑的工作,这类仪器称为智能仪器。这种将计算机技术与仪器技术充分结合的智能仪器,已成为现代仪器仪表的主流。但是应该看到智能仪器的功能模块主要还是硬件和固化软件,就整体而言它还是硬件或以硬件为主的仪器,因此仍然具有一定的封闭性和缺乏灵活性等传统仪器的缺点。为此,一种新的仪器模式不仅成为仪器仪表领域中的需要,而且呼之欲出。

4. 虚拟仪器

20世纪80年代中期,随着计算机技术与电子技术的飞速发展,在以计算机为平台的测控仪器中软件和总线的作用日益突出,测试仪器的物理功能越来越多,对计算功能的要求越来越强,传统的硬件化仪器的固有缺点(如封闭性、缺乏灵活性、响应速度慢等)已使它越来越不能满足测试仪器功能日益强大的要求,因此用软件取代硬件便成为仪器仪表领域的一个迫切需要解决的问题;同时因为被测对象的频率范围越来越宽,因此要求总线具有相应的高速数据传输能力和灵活的扩展性能;另外,面对各种各样复杂的测试要求,希望软件系统不仅能完成测试所需的功能,而且还要易于使用。计算机总线技术、软件技术及相关技术的发展,使得微机在计算机仪器上的作用远远超出了计算机仪器发展初期主要是用来完成控制的范围。特别是近10年来出现的数字信号处理器(DSP),它与微机软件相结合将产生强大的计算与控制能力,这使其在一定的实时性要求下取代了许多原来由硬件完成的功能并能完成许多硬件不能胜任的功能,这标志着“软件即仪器”(The software is the instrument)时代的到来。这种全新模式的“软件化仪器”被称为“虚拟仪器”,它是继智能仪器之后的第4代仪器系统。虚拟仪器不仅使仪器技术与计算机软、硬件技术和总线技术紧密结合,而且还采用了数字信号处理,系统辨识和数学建模等现代方法。虚拟仪器的出现是对传统仪器观念的一次变革,是21世纪测控仪器的重要发展方向。

第二节 虚拟仪器的原理及系统

一、虚拟仪器的概念

虚拟仪器 (Virtual Instrument, 简称 VI) 是日益发展的计算机硬、软件和总线技术在向其它相关技术领域密集渗透的过程中, 与测试技术、仪器仪表技术密切结合共同孕育出的一项全新的成果。20 世纪中期, 美国国家仪器公司 (National Instruments Corporation 简称 NI) 首先提出了虚拟仪器的概念, 认为虚拟仪器是由计算机硬件资源、模块化仪器硬件和用于数据分析、过程通讯及图形用户界面的软件组成的测控系统, 是一种由计算机操纵的模块化仪器系统。如果再作进一步说明, 那么虚拟仪器是一种以计算机作为仪器统一硬件平台, 充分利用计算机独具的运算、存储、回放、调用、显示以及文件管理等基本智能化功能, 同时把传统仪器的专业化功能和面板控件软件化, 使之与计算机结合起来融为一体, 这样便构成了一台从外观到功能都完全与传统硬件仪器一致, 同时又充分享用计算机智能资源的全新的仪器系统。由于仪器的专业化功能和面板控件都是由软件形成, 因此国际上把这类新型的仪器称为“虚拟仪器”。有的资料上甚至直接将虚拟仪器这种形式称为“软件即仪器”。

作为一种新的仪器模式与传统的硬件化仪器比较。虚拟仪器主要有以下特点: 功能软件化、功能软件模块化、模块控件化、仪器控件模块化、硬件接口标准化、系统集成化、程序设计图形化、计算可视化、硬件接口软件驱动化。

二、虚拟仪器的硬件系统

虚拟仪器的硬件系统一般分为计算机硬件平台和测控功能硬件。计算机硬件平台可以是各种类型的计算机, 如 PC 机、便携式计算机、工作站、嵌入式计算机等。计算机管理着虚拟仪器的硬软件资源, 是虚拟仪器的硬件支撑。计算机技术在显示、存储能力、处理性能、网络、总线标准等方面的发展, 推动着虚拟仪器系统的发展。

按照测控功能硬件的不同, 虚拟仪器可分为 GPIB、VXI、PXI 和 DAQ 四种标准体系结构。对于这些标准体系结构将在本书第 2 章作详细的介绍, 本章只作一些简单说明。

1. GPIB (General Purpose Interface Bus) 通用接口总线

这种接口总线是计算机和仪器间的标准通讯协议。GPIB 的硬件规格和软件协议已纳入国际工业标准 IEEE 488.1 和 IEEE 488.2。它是最早的仪器

总线,目前多数仪器都配置了遵循 IEEE-488 的 GPIB 接口。典型的 GPIB 测试系统包括一台计算机、一块 GPIB 接口卡和若干台 GPIB 仪器。

每台 GPIB 仪器有单独的地址,由计算机控制操作。系统中的仪器可以增加、减少或更换,只需对计算机的控制软件作相应改动。这种概念已被应用于仪器的内部设计。在价格上,GPIB 仪器覆盖了从比较便宜的到异常昂贵的仪器。但是 GPIB 的数据传输速度较低,一般低于 500kbit/s,不适合对系统速度要求较高的应用,因此在应用上已经受到了一定程度的限制。

2. VXI (VMEbus eXtension for Instrumentation) 总线系统

VXI 总线系统是 VME 总线在仪器领域的扩展,它是在 1987 年 VME 总线、Eurocard 标准(机械结构标准)和 IEEE488 标准等的基础上,由主要仪器制造商共同制订的开放性仪器总线标准。VXI 系统可包含 256 个装置,由主机箱、零槽控制器、具有多种功能的模块仪器、驱动软件和系统应用软件等组成。系统中各功能模块可随意更换,即插即用(Plug & Play)组成新系统。目前国际上有两个 VXI 总线组织,其一为 VXI 联盟,负责制定 VXI 的硬件(仪器级)标准规范,包括机箱背板总线、电源分布、冷却系统、零槽模块、仪器模块的电气特性、机械特性、电磁兼容性以及系统资源管理和通讯规程等内容;其二为 VXI 总线即插即用(VXI Plug & Play,简称 VPP)系统联盟,宗旨是通过制订一系列 VXI 的软件(系统级)标准来提供一个开放性的系统结构,真正实现 VXI 总线产品的“即插即用”。这两套标准组成了 VXI 标准体系,实现了 VXI 的模块化、系列化、通用化以及 VXI 仪器的互换性和互操作性。

3. PXI (PCI eXtension for Instrumentation) 总线系统

PXI 总线系统是 PCI 在仪器领域的扩展。它是 NI 公司于 1997 年发布的一种新的开放性、模块化仪器总线规范。PXI 是在 PCI 内核技术上增加了成熟的技术规范和要求形成的。PXI 增加了用于多板同步的触发总线和参考时钟、用于精确定时的星形触发总线,以及用于相邻模块间高速通信的局部总线等,来满足试验和测量的要求。PXI 兼容 Compact PCI 机械规范,并增加了主动冷却、环境测试(温度、湿度、振动和冲击试验)等要求。这样,可保证多厂商产品的互操作性和系统的易集成性。

4. DAQ (Data AcQuisition) 数据采集系统

DAQ 数据采集系统是指基于 PC 计算机标准总线(如 ISA, PCI, USB 等)的数据采集功能模块。它充分地利用计算机的资源,大大增加了测试系统的灵活性和扩展性。利用 DAQ 可方便快速地组建基于计算机的仪器,实现“一机多型”和“一机多用”。在性能上,随着 A/D 转换技术、信号

调理技术的迅速发展, DAQ 的采样速率已达到 Gbit/s, 精度可高达 24 位, 通道数高达 64 个, 并能任意结合数字 I/O、计数器/定时器等通道。各种性能和功能的 DAQ 功能模块可供选择使用, 如示波器、数字万用表、串行数据分析仪、动态信号分析仪、任意波形发生器等。在 PC 计算机上挂接 DAQ 功能模块, 配合相应的软件, 就可以构成一台具有若干功能的 PC 仪器。这种基于计算机的仪器, 既可享受 PC 机固有的智能资源, 具有高档仪器的测量品质, 又能满足测量需求的多样性。对大多数用户来说, 这种方案实用性强, 应用广泛, 且具有很高的性能价格比, 是一种特别适合于我国国情的虚拟仪器方案。

三、虚拟仪器的软件系统

虚拟仪器的核心思想是利用计算机的硬件和软件资源, 使本来由硬件实现的功能软件化(虚拟化), 以便最大限度地降低系统成本, 增强系统的功能与灵活性。“软件即仪器”这一口号正是基于软件在虚拟仪器系统中的重要作用而提出的。VPP(VXI Plug & Play)系统联盟提出了系统框架、驱动程序、VISA、软面板、部件知识库等一系列 VPP 软件标准, 推动了软件标准化的进程。虚拟仪器的软件框架从低层到顶层包括三部分: VISA 库、仪器驱动程序、仪器开发软件(应用软件)。图 1-1 表示虚拟仪器软件的结构框架。以下对软件结构的主要组成部分作一说明。

1. VISA (Virtual Instrument Software Architecture) 虚拟仪器软件体系结构

VISA 体系结构是标准的 I/O 函数库及其相关规范的总称。一般称这个 I/O 函数库为 VISA 库。它驻留于计算机系统之中, 执行仪器总线的特殊功能, 是计算机与仪器之间的软件层连接, 以实现对仪器的程控。它对于仪器驱动程序开发者来说是一个个可调用的操作函数集。

2. 驱动程序

每个仪器模块都有自己的仪器驱动程序, 仪器厂商以源码的形式提供给用户。

3. 应用软件

应用软件建立在仪器驱动程序之上, 直接面对操作用户, 通过提供直观友好的测控操作界面、丰富的数据分析与处理功能, 来完成自动测试任务。

四、虚拟仪器的开发系统

应用软件开发系统是设计开发虚拟仪器所必需的软件工具。目前, 较流行的虚拟仪器软件开发环境有两类: 一类是图形化编程语言, 具代表性的有 LabVIEW, HPVIEE 系统; 另一类是文本式编程语言, 如 C 语言, Visu-

alC ++, LabWindows/CVI 等。图形化的编程语言具有编程简单、直观、开发效率高的特点。文本式编程语言具有编程灵活、运行速度快等特点。

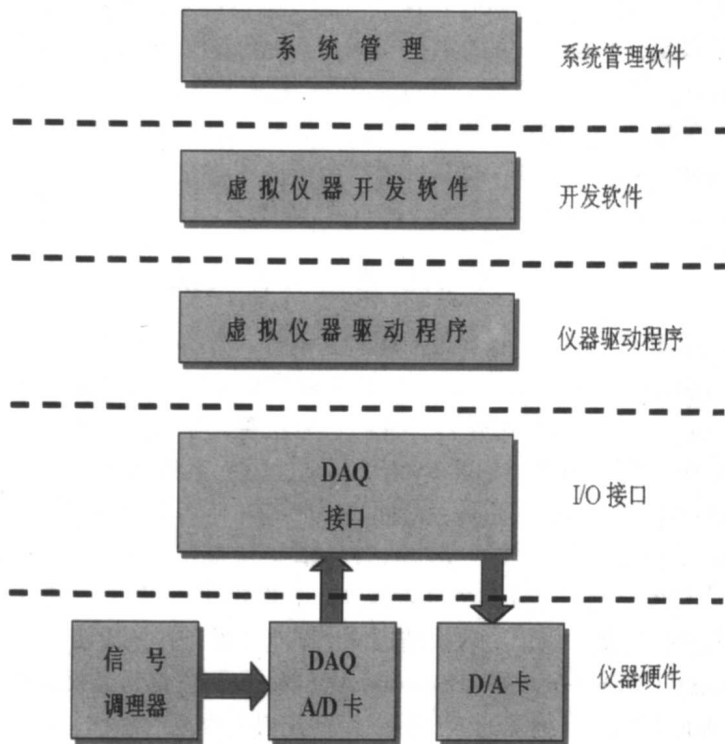


图 1-1 虚拟仪器的软件结构

关于虚拟仪器的开发系统，是本书的核心内容之一，将在第 5 章详细论述，这里不再赘言。

五、虚拟仪器的形成

1. 测试集成

现今，无论在实验室、生产车间或户外现场对机械设备、电气设备、通讯设备和环境污染或其他对象动态测试时，通常除传感器和信号调理器之外还需要多种、多台测试仪器。对于复杂的测试系统，还需要 FFT 分析仪以及个人计算机及其外设等，这使得测试分析系统的价格十分昂贵，体积庞大，操作复杂，测试分析效率也比较低，图 1-2 表示对某发电机主轴的振动进行故障诊断和寿命预估的测试仪器系统配置图，配置图中的测试仪器复杂而且昂贵。

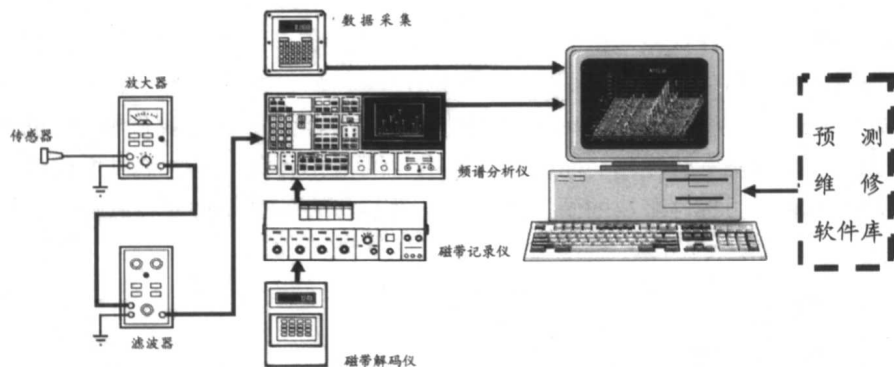


图 1-2 测试系统仪器配置图

为了从根本上改变现行测试系统的模式，必须从概念更新入手，建立新型的现代测试系统。“测试集成”新概念便是建立全新测试系统的新思想。所谓“测试集成”便是对多种硬件化测试仪器的测试功能进行“集成”，即将众多的测试仪器功能集成在 PC 机的一个“测试功能软件库”中，通过与专用的模块卡和接口搭配，使之在一台工作站或 PC 机中精确无误地实现被集成的测试仪器的全部功能，从而代替了众多昂贵、复杂的测试仪器，大大减少了测试仪器操作与维护的时间和复杂性，大大降低了测试仪器的价格，使测试技术的进步发生质的飞跃。

利用“测试集成”的概念，用软件实现的测试仪器系统既可以是某一种测试仪器也可以是一个由多种用途虚拟仪器集成的虚拟仪器库。图 1-3 是“测试集成”概念的示意图。

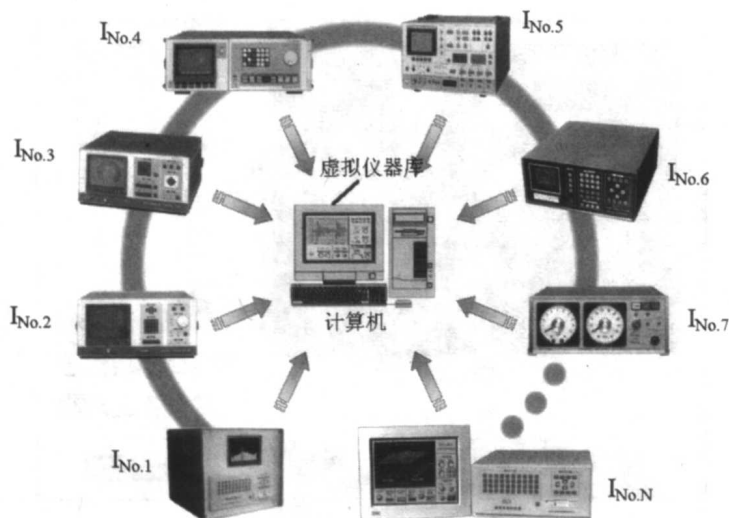


图 1-3 测试集成概念

2. 虚拟仪器的形成

传统的硬件仪器，主要由机箱和底盘，插在底盘上的反映仪器功能、性能、精度指标的电子卡和与电子卡有序联接、用以控制仪器的工作状态、调用仪器功能和参数的面板控件等四部分组成。如果我们将 PC 机作为一套带有基本智能化功能的仪器通用的机箱和底盘，把电子卡组成的硬功能库和面板控件组成的硬控件库，按图 1-4 所示的那样实行软件化，从

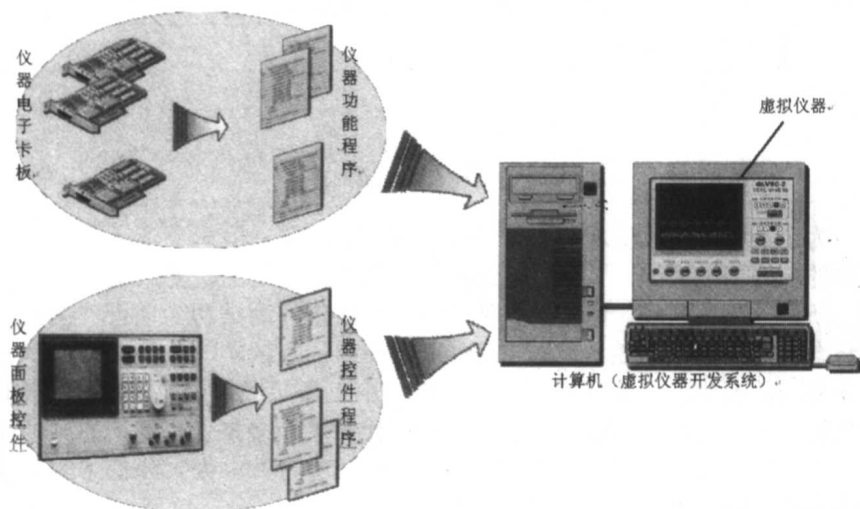


图 1-4 虚拟仪器——从硬件到软件的形成过程

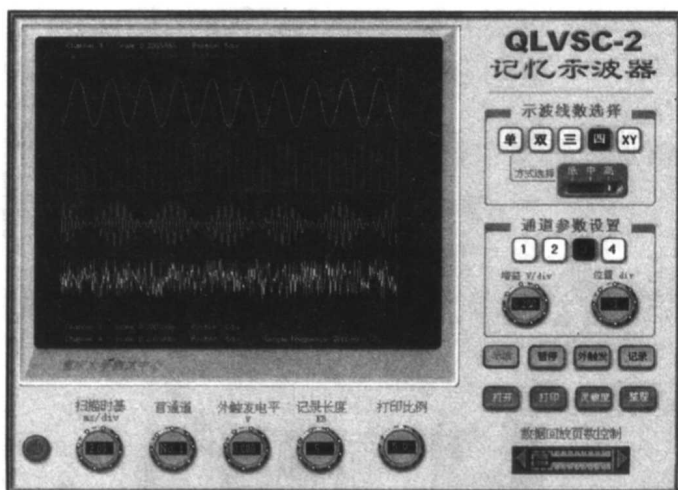


图 1-5 虚拟仪器面板图

而形成“软功能库”和“软控件库”，然后将它们置入计算机，在开发系统内进行软装配、软连接、软组合、软修改、软测试等一系列软性操作，最后便形成一台从外观到功能到操作方法都与同类硬件化仪器一样的虚拟仪器，图1-5是虚拟仪器软面板。若在计算机的总线槽内插入模块化数据采集卡，并在测试对象与模块卡之间接入传感器，这样虚拟仪器便可和被测对象进行数据交换和进行测试与分析了。

3. 虚拟仪器库的形成

如果在一台PC机内只包含一台虚拟仪器，远不能充分体现虚拟仪器的优点，也没有对PC机进行充分利用。虚拟仪器的一大优点是具有集成性，通过“测试集成”可以将多种（台）仪器的功能集成在一个“测试功能库”中；同样，也可将多种（台）仪器的面板控件软件化后一一集成于“控件库”中，并使这些仪器的功能软件和控件软件在机内的开发系统中进行软装配、软调试等软操作，最后在一台PC机内便形成一个多品种的虚拟仪器库，这时用户便可从仪器库中调用自己需要的仪器或由若干仪器组成实验研究所需要的测试系统。图1-6表示通过“测试集成”形成的虚拟仪器库，图1-7表示展现在PC机屏幕上的虚拟仪器库外观。

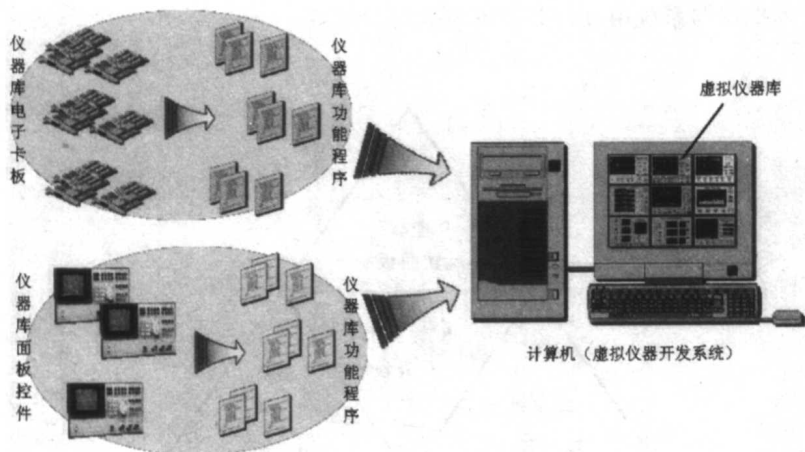


图1-6 将多种（台）传统仪器形成以一台PC机为硬件平台的虚拟仪器库