

## 第七章 计算机与虚拟仪器测试技术

科技的进步使测试对象日渐复杂,测试项目和测试范围与日俱增,测试的参数越来越多,对测试速度和测量精度的要求也不断提高,因而传统的单机单参数测试已经不适应,迫切要求测量技术不断改进与完善。如果说数字电子技术的发展使仪器形态进入了数字化仪器时代是测试仪器发展史上的第一次革命,微处理器的大量应用催生了智能仪器时代是第二次仪器革命,那么通用计算机软、硬件技术的飞速发展使仪器进入虚拟仪器时代,则被公认为是仪器领域正在进行的第三次革命。智能仪器、自动测试系统和虚拟仪器分别是仪器发展三个阶段的成果标志,想比于传统电子仪器,具有自动化、智能化、可编程化等功能,是现代计算机测试系统的主流和趋势。

各种现代计算机测试系统的任务是将传感器输出信号经过一定的调理转换,送入计算机,计算机根据不同的需要进行计算和处理,最后将得到的结果进行显示、打印或传输,有些还被生产过程中的计算机控制系统用来对某些机械参数进行控制。尽管智能仪器、自动测试系统和虚拟仪器的组成和类型不同,但都可以划分为软件和硬件两大部分,软件部分包括计算机操作系统软件、信号采集、处理与分析等功能模块软件。硬件部分通常包括信号调理、采样保持、模数转换、总线接口电路等模块,随着与计算机结合的程度不同各模块的表现形式各异。

### § 7-1 智能仪器

#### 一、智能仪器概述

智能仪器(Intelligent Instrument)是通用仪器与微处理器相结合的新型仪器,因为能完成人的一部分智力劳动而得名,这类仪器仪表中通常含有微处理器、单片计算机或体积很小的微型机,有时亦称为内含微处理器的仪器或基于微型机的仪器,功能丰富又很小巧。

智能仪器有如下的基本特征:

- (1) 智能仪器可以借助于传感器和变送器,按设计要求采集电量和非电能量信号,由微处理器控制仪器的整个测量过程,有很高的自动化水平。
- (2) 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,可以利用软件获得解决。
- (3) 智能仪器可以进行自动校正、非线性补偿、数字滤波等修正和克服由各种传感器、变换器、放大器等引进的误差和干扰,提高仪器的精度和其它性能指标。
- (4) 智能仪器的各种接口如 GPIB、RS232、LAN 等能使智能仪器方便地与计算机和其他智能设备组成多功能自动测试系统。
- (5) 智能仪器通常具有自测试和诊断的功能,能自行测试整个仪器的各种功能是否

正常，自行诊断仪器内部是否存在故障并显示故障部位，提高了仪器的可靠性，简化和加快了仪器的维修工作。

(6) 智能仪器由于采用了微处理器，不仅可以减小仪器体积，还可以降低成本、提高仪器的可靠性。

## 二、智能仪器的组成

智能仪器由硬件和软件两大部分组成，硬件部分包括微机系统、输入通道、输出通道、人——机对话通道及通信接口，其基本组成原理如图 7.1 所示：

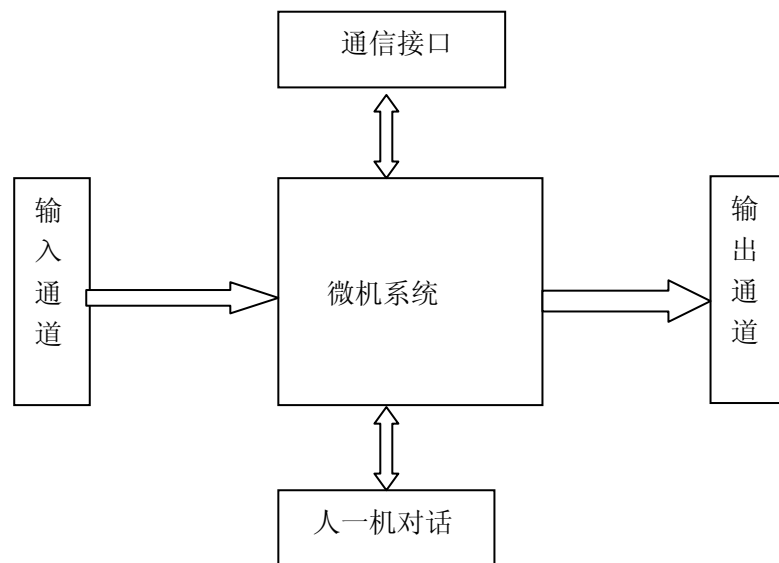


图 7.1 智能仪器基本组成

智能仪器硬件主要由以上各部分组成，各硬件部分模块功能如下：

(1) 微机系统：由单片机或微处理器配以必要的外部器件构成最小的微机系统，智能仪器越复杂，需要配接的存储器内存越大，同时需要较多的 I/O 接口，通常单片机扩展能力强，可以直接与外部存储器和 I/O 接口电路相连，构成功能较强、规模较大的微机系统。

(2) 输入通道：输入通道是微机系统与采集对象相连的部分。输入信号来自于传感器或变换装置，采集的对象和传感器不同，信号表现形式也不一样，有开关量信号、频率量信号、模拟量信号等，如果不能满足微机系统输入的要求，还需要形式多样的信号变换和调节电路，如放大器、滤波器、A/D 转换等。

(3) 输出通道：根据输出控制的不同要求，输出通道电路是多种多样的，如 D/A 转换电路、放大隔离电路等，输出信号有模拟量信号、开关量信号和频率量信号等。

(4) 人——机对话通道：智能仪器中的人——机对话是用户为了对智能仪器进行控制并及时获得智能仪器运行状态等信息所设置的通道，人——机对话通道所配置的设备主要有键盘、鼠标、打印机等。

(5) 通信接口：用来实现智能仪器与外部系统的联系，各种通信接口需符合通信总线规定的标准。

智能仪器软件主要包括监控程序和接口管理程序两部分：

监控程序是面向仪器面板的键盘和显示器的管理程序，包括通过键盘输入命令和数据，对仪器的功能、操作方式与工作参数进行设置；根据仪器设置的功能和工作方式控制 I/O 接口电路进行数据采集、存储；按照仪器的参数设置对数据进行处理，以数据、字符等形式显示结果及仪器的状态信息。

接口管理程序是面向通信接口的管理程序，其主要是对来自通信接口总线的远控命令进行接收并分析，包括描述有关功能、操作方式与工作参数的代码、进行数据采集与数据处理，通过接口送出仪器的测量结果、数据处理结果及仪器的现行工作状态信息等。

## § 7-2 自动测试系统

### 一、自动测试系统概述

自动测试系统 (Automatic Testing System) 简称 ATS，有时也称为自动测试设备 (Automatic Testing Equipment) 简称 ATE。最早用于军事工业，因为军事部门中的许多被测对象要求快速、准确、实时、多路，需要海量测量及实时数据处理和控制。美国早在上世纪 50 年代就开始了自动测试系统的研究和开发工作，花费巨大。随着计算机技术及数字电子技术的飞速发展，组建自动测试系统的费用大幅下降，因而在民用工业和科研部门渐渐得到广泛应用，与自动测试技术有关的理论研究工作得到更深入的发展，成为测试领域中一个特别的分支，目前自动测试技术已是电测技术的一个重要发展方向。

### 二、自动测试系统的组成

自动测试系统由硬件和软件两大部分组成，硬件包括计算机或微处理器、可编程仪器和接口系统，其基本组成原理如图 7.2 所示：

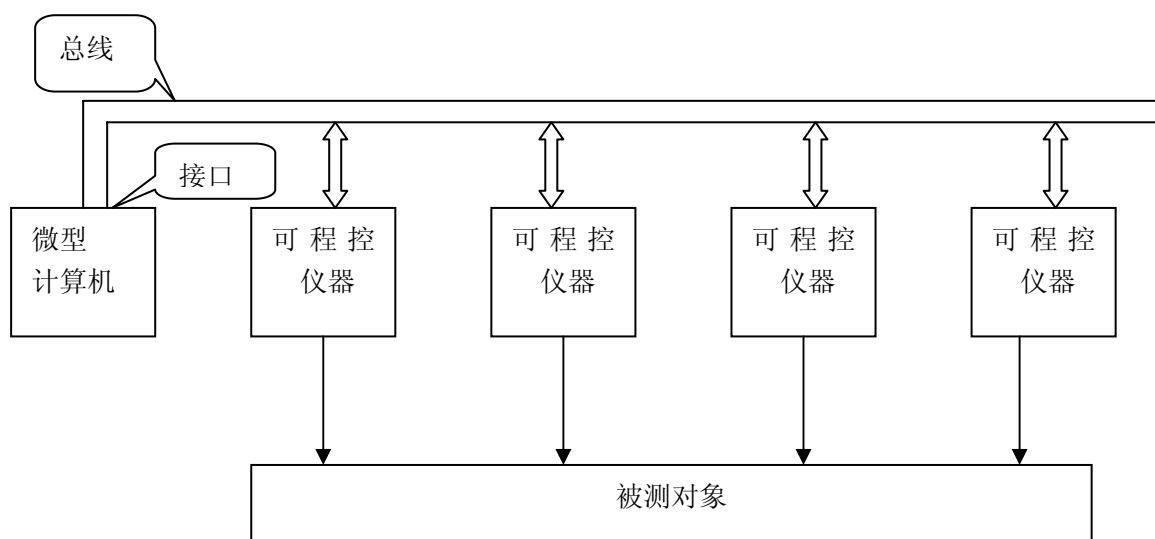


图 7.2 自动测试系统组成

微机(或微处理器)是整个系统的核心,控制整个自动测试系统正常运转,并对测量数据进行一定的处理,如数值计算、变换、数据处理、误差分析等,最后将测量结果通过打印机、显示器、磁盘磁卡或指示表、数码显示等方式输出。

能组成自动测试系统的仪器必须满足两个条件:一是要求是可程控的仪器,二是要带有一定的接口。能接受程序控制而改变内部电路工作状态,完成特定任务的测量仪器称为可程序控制的仪器,简称可程控仪器,程序控制的具体内容包括:

- (1) 设定仪器的工作方式、状态、参数等等。
- (2) 随时启动或停止仪器的工作。
- (3) 控制仪器的过程。
- (4) 选择和控制仪器的输入、输出。

自动测试系统中各仪器设备之间和各仪器设备与计算机之间的接口总称为该自动测试系统的接口系统,接口系统是自动测试系统达到自动测试目的,使自动测试系统各仪器和设备之间进行有效通信的重要环节。接口要在以下几个方面兼容,使仪器与计算机无障碍互通。

- (1) 机械兼容——接口应提供自动测试系统内各种仪器设备之间、仪器设备与计算机之间的机械兼容,有适当的连接器和连接线。
- (2) 电磁兼容——接口应使计算机和各可程控仪器之间有适配的电器特性,达到电磁兼容,在逻辑电平方面相符合。
- (3) 数据兼容——当接口已使计算机和仪器实现了机械和电器兼容,它们就能通过数据线交换电信号信息,但需要某种格式翻译,计算机通过接口系统完成这种功能。

自动测试系统的软件分为应用软件和系统软件编程两个部分,应用软件是一组与被测对象直接有关的程序,如被测对象的描述程序、测试程序、控制程序、数据处理程序等都是应用软件。应用软件可用汇编语言或高级语言来编写,通常对实时性要求较高的测试程序或控制程序应采用汇编语言来编写。高级语言是面向问题的语言,只要对所要解决的问题有足够的了解,设计一定的算法,就能采用它进行编程,而不用去了解所使用计算机的细节,编程容易、方便,但实时性比汇编语言程序差。

自动测试系统的系统软件的作用是使用户能方便地使用自动测试系统,一个功能强大,效率高的测试系统应具备丰富的系统软件,如实时性操作系统等等,使用户能方便地运行、检测、修改、测试和升级应用软件,方便于自动测试系统的维护。

### **三、自动测试系统的分类**

可以从不同角度对自动测试系统进行分类,可以根据系统所用的总线和接口分类,如

GPIB 系统，也可根据被测对象的性质分类，如温度自动测试系统、位移自动测试系统等。

最早的自动测试系统为以任务命名的专用系统，通常是针对某项具体任务设计的，采用比较简单的定时器或扫描器作为控制器，系统接口也是专用的，通用性比较差。

可编程测量仪器接口总线的标准化把自动测试系统从专用推向通用，主要采用国际标准通用接口总线技术如 IEEE 488，利用可程序控制的仪器和测控计算机(控制器)组成自动测试系统，从而使得自动测试系统的设计、使用和组装都比较容易。

通用自动测试系统中使用的测试设备只是在传统的测试设备上配备了新的符合国际标准的接口，整个系统的工作过程基本上还是对传统人工测试的模拟，并没有充分发挥电子计算机的所有资源的功能，测试设备和计算机更深层次的结合发展出虚拟仪器测试技术，使测试设备和计算机更好地服务于自动测量。

## § 7-3 虚拟仪器

### 一、 虚拟仪器概述

传统的信号调理、信号处理、显示、记录设备等都以硬件或固化的形式存在，只能由生产厂家来定义和制造，且设计生产复杂，灵活性差，在一些较为复杂和测试参数较多的情况下，使用起来极不方便。虚拟仪器VI (Virtual Instrument) 使计算机软件技术和测试系统紧密地结合成一个有机整体，计算机处于核心地位，传统仪器的硬件组成部分逐步被具有信号调理与处理功能的扩展电路板或计算机软件所取代。由于虚拟仪器用软件来集成传统仪器的某些硬件乃至整个仪器硬件部分都被计算机软件代替，某种意义上，在虚拟仪器中软件就是仪器。虚拟仪器是对传统仪器概念的重大突破，是仪器领域内的一次革命，代表了现代测试技术和仪器技术的发展方向。

### 二、 虚拟仪器的特点

计算机和仪器的密切结合是目前仪器发展的一个重要方向，这种结合有两种方式，一种是将计算机装入仪器，典型的例子就是智能化仪器，随着计算机功能的日益强大以及体积的日趋缩小，这类仪器功能也越来越强大，目前已经出现含嵌入式系统的仪器。另一种方式是将仪器装入计算机，以通用的计算机硬件及操作系统为依托，实现各种仪器功能，虚拟仪器主要就是指这种方式。

“虚拟仪器”是借助于计算机强大的软件和硬件支持环境，建立虚拟的测控仪器面板，完成仪器的控制、数据分析和结果输出，使用鼠标或键盘操作计算机上的前面板，就像操作一台自己定义、自己设计的专用测控仪器的用户界面一样。虚拟仪器实际上是一个按照仪器需求组织的数据采集、处理、分析系统，与传统仪器相比，虚拟仪器在智能化、处理能力、性价比、可操作性等方面都具有明显的技术优势，具体表现为：

(1) 智能化程度高，处理能力强。虚拟仪器的处理能力和智能化程度主要取决于仪器

软件的编制水平，用户完全可以根据实际应用需求，将先进的信号处理算法、人工智能技术和专家系统应用于仪器设计与集成，将仪器水平提高到一个更高智能的层次。

- (2) 复用性强，系统费用低。应用虚拟仪器思想，用相同的基本硬件可构造多种不同功能的测试分析仪器，该测试仪器系统功能更灵活、组建系统费用更低。通过与计算机网络连接，还可实现虚拟仪器的分布式共享，更好地发挥仪器的使用价值。
- (3) 可操作性强。虚拟仪器面板可由用户定义，针对不同应用可以设计不同的操作显示界面。使用计算机的多媒体处理能力可以使仪器操作变得更加直观、简便、易于理解，测量结果可以直接进入数据库系统或通过网络发送。测量完后还可打印，显示所需的报表或曲线，使仪器的可操作性大大提高。

### 三、虚拟仪器的构成

虚拟仪器是计算机化的仪器，由计算机、模块化功能硬件和应用软件三大部分组成，虚拟仪器所用的计算机是通用的计算机，模块化功能硬件指各类功能化仪器模块，依据与计算机通信接口方式不同可分为 D A Q 数据采集系统、RS232 接口仪器、USB 接口仪器、VXI 仪器、GPIB 总线仪器、现场总线（Fieldbus）设备以及其它接口的设备等，应用软件将仪器的模块化功能硬件与各类计算机结合，构成虚拟仪器系统。如图 7.3 所示为虚拟温度测量系统。

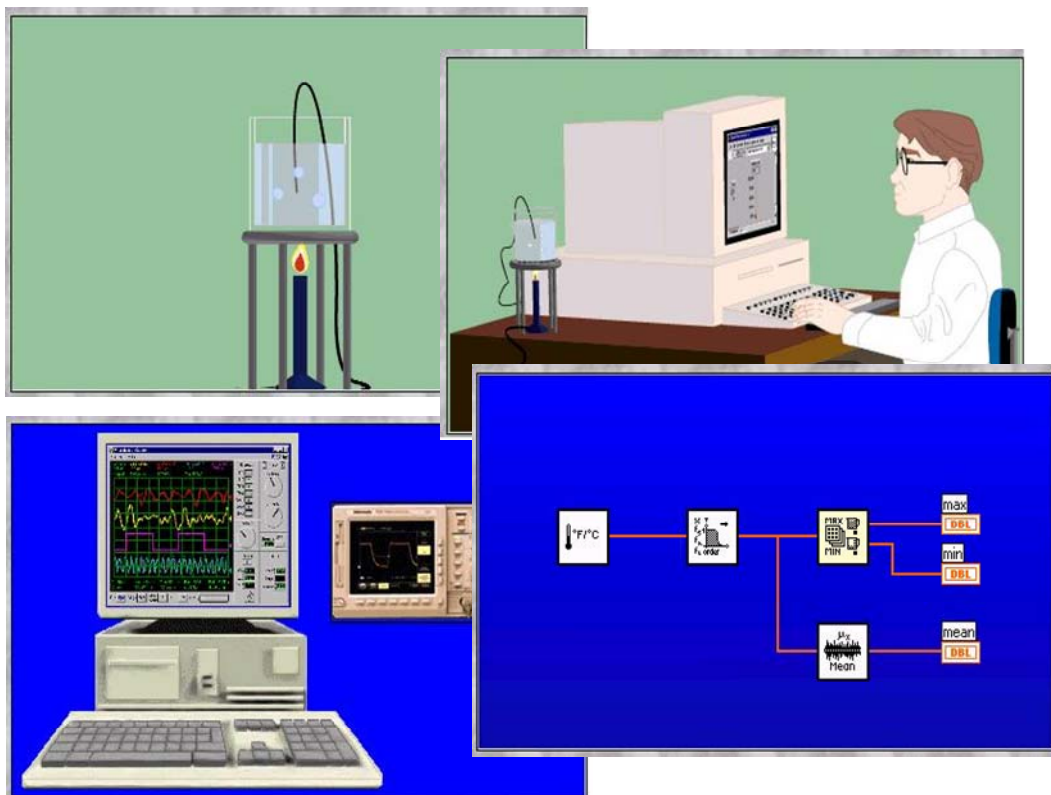


图 7.3 虚拟温度测量系统

图 7.3 所示虚拟温度测量系统由 PC 机、DAQ 信号采集系统和虚拟仪器软件三个部分组成，从图中可以看出，热电偶所测温度信号通过插在电脑主机箱内的信号采集系统被计算机系统采集，通过虚拟仪器软件编程对实测信号进行处理，并在电脑屏幕上显示，电脑屏幕显示的温度信号图形为用户界面，右侧为虚拟仪器程序框图即程序源代码。

## 1. 虚拟仪器的硬件组成

组成虚拟仪器系统的功能化模块形式各异，但功能环节基本相同，通常包括信号调理、数据采集、计算机通信几大部分，如图 7.4 所示。

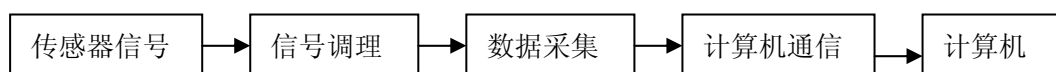


图7.4 虚拟仪器系统硬件组成

信号调理：一般包括信号放大、滤波、隔离、线性化处理等。

数据采集：将被测的模拟信号转换为数字信号并送入计算机的输入通道，其核心是模数转换电路。采集模块的性能指标包括精度、采样频率、通道数以及各种软件平台下的驱动程序，方便用户使用，编程时不必编写底层设备驱动程序，构建数据采集系统时，能方便地看到测量结果。

计算机通信：虚拟仪器主要有VXI、GPIB、PXI和DAQ四种标准通信体系结构，由它们组成的虚拟仪器测试系统如图7.5所示。

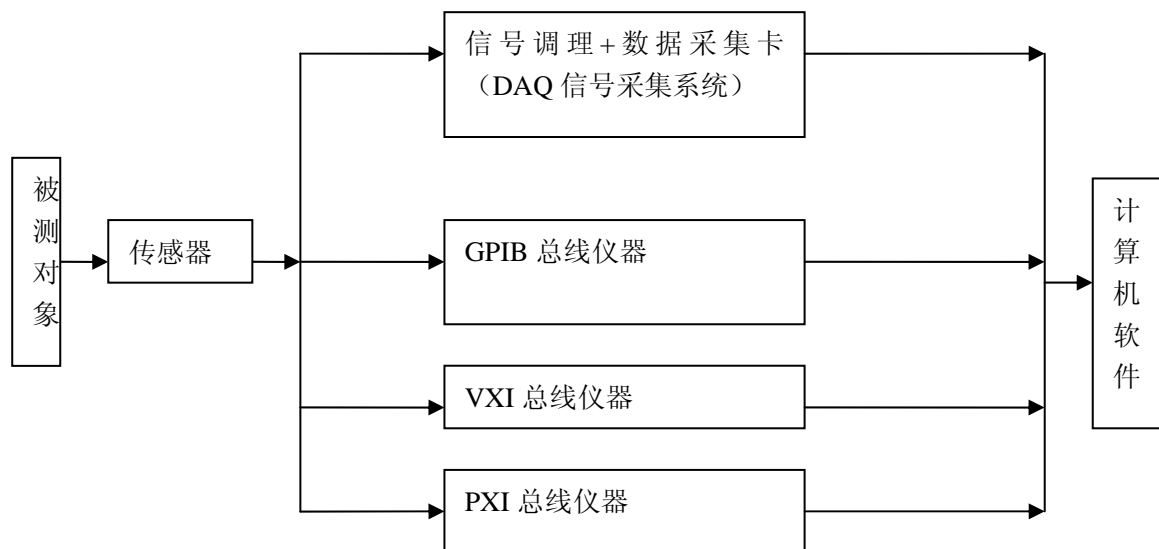


图 7.5 不同通信体系的虚拟仪器构成方式

DAQ数据采集系统指基于PC计算机标准总线(如ISA, PCI, USB等)的数据采集功能模块,是虚拟仪器最常用、最基本的方式,成本比较低,能充分利用计算机的计算、显示、存储、远传等资源,大大增加了测试系统的灵活性和可扩展性。在计算机上挂接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,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,是一种特别适合的虚拟仪器方案。图7.3所示虚拟温度测量系统即为利用DAQ数据采集系统构成的虚拟仪器。

目前还常用GPIB仪器组成虚拟仪器系统,因为先进的测试仪器大都带有GPIB接口,GPIB(General Purpose Interface Bus 通用总线接口)总线是仪器测试系统的标准总线,为PC机与可编程仪器之间的连接系统定义了电气、机械、功能和软件特性,GPIB仪器具有高性能,可以实现快速测量,计算机可以通过使用仪器驱动软件和GPIB仪器组成虚拟仪器系统,同时发挥仪器的高测量性能和计算机的资源优势,提高工作效率和可靠性。

VXI总线是VME Extension for Instrumentation的缩写,即VME总线在测量仪器领域的扩展。VXI总线系统具有标准化、通用化、系列化、模块化的显著优点,集测量、计算、通信功能于一体。它不仅继承了GPIB智能仪器和VME总线的特点,还有高速、模块化、易于使用等优势。它是国际上最新推出的开放式仪器系统。采用了当代多项高新技术,包括微电子技术、计算机技术、自动测试技术、图形处理技术、智能化仪器仪表技术等光、电、机技术。核心思想是使VXI产品成为开放式结构的总线系统,标准统一,使用灵活,用户在购买VXI总线产品之后,在组建系统时能真正做到“即插即用”(Plug & Play)。



虚拟仪器的PXI总线系统是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总线系统是PCI在仪器领域的扩展，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兼容了Compact PCI机械规范，并增加了环境测试如温度、湿度、振动和冲击实验等要求。

## 2. 虚拟仪器的软件组成

虚拟仪器软件主要包括集成的开发环境、仪器硬件的高级接口、虚拟仪器的用户界面三个部分。从事测量工作的用户通常利用虚拟仪器开发环境编写针对测试任务的虚拟仪器软件，可以采用各种不同的软件如Visual C++、Visual Basic等，但这些语言对非专业编程人员来说，还是非常困难的，因此世界各大公司都在致力于开发便于测试工程师使用的虚拟仪器开发环境，其中NI公司LabWindows / CVI和 LabVIEW、Agilent公司的 VEE、Tektronix公司的Ez-Test和Tek-TNS等软件是基于图形的用户界面和开发环境，便于二次开发，其中最广泛应用的是NI公司的 LabVIEW 应用软件平台。

LabVIEW是一种图形程序设计语言，全称为Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench，中文名字是实验室虚拟仪器工程平台，采用了直观的前面板与流程图式的编程技术，LabVIEW的主要特点有：

- (1) 图形化编程，直观，简单易懂。
- (2) 调试手段灵活，用户可设置断点，单步执行源代码，在源代码中的数据流中设置探针。
- (3) 集成了大量的函数库，调用极其方便。
- (4) 支持多系统工作平台。
- (5) 开放式开发平台。
- (6) 支持网络功能。
- (7) 继承了传统的编程语言中的结构化和模块化编程的优点。

LabVIEW的基本程序单位是VI (Virtual Instrument 虚拟仪器)，LabVIEW可以通过图形编程的方法建立一系列的VI，每个VI模块完成指定的功能，最后组成的顶层VI虚拟仪器就成为一个包含所有功能子VI的集合，LabVIEW中的各VI之间的层次调用关系如图7.6所示；

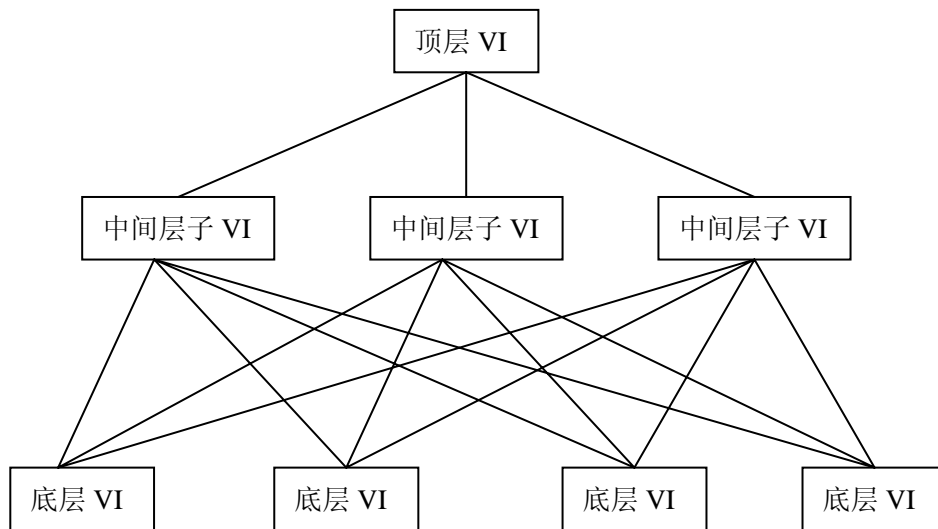


图7.6 虚拟仪器软件的层次结构

LabVIEW中的每个VI均有两个工作界面——前面板和程序框图。前面板（Front Panel）用于模拟真实仪器的用户界面，使用的都是测试工程师们熟悉的旋钮、开关、波形图等。程序框图（Block Diagram）是虚拟仪器软件的源代码，利用图形语言对用户界面上的控件对象进行控制，实现模块化编程。

LabVIEW内部集成了大量的图形界面的模板，包含了测试仪器所需的主要部件，用户可以自行设计测量仪器。图7.7是利用LabVIEW应用程序开发的虚拟示波器的用户界面，或称为前面板，是测试人员进行测试的主要输入输出界面，是用户通过选择菜单在面板上选择相应的模块组建的，以完成测试的设置及结果的显示，生成的用户界面给最终用户，最终用户可以象操作实际示波器一样操作该虚拟示波器。

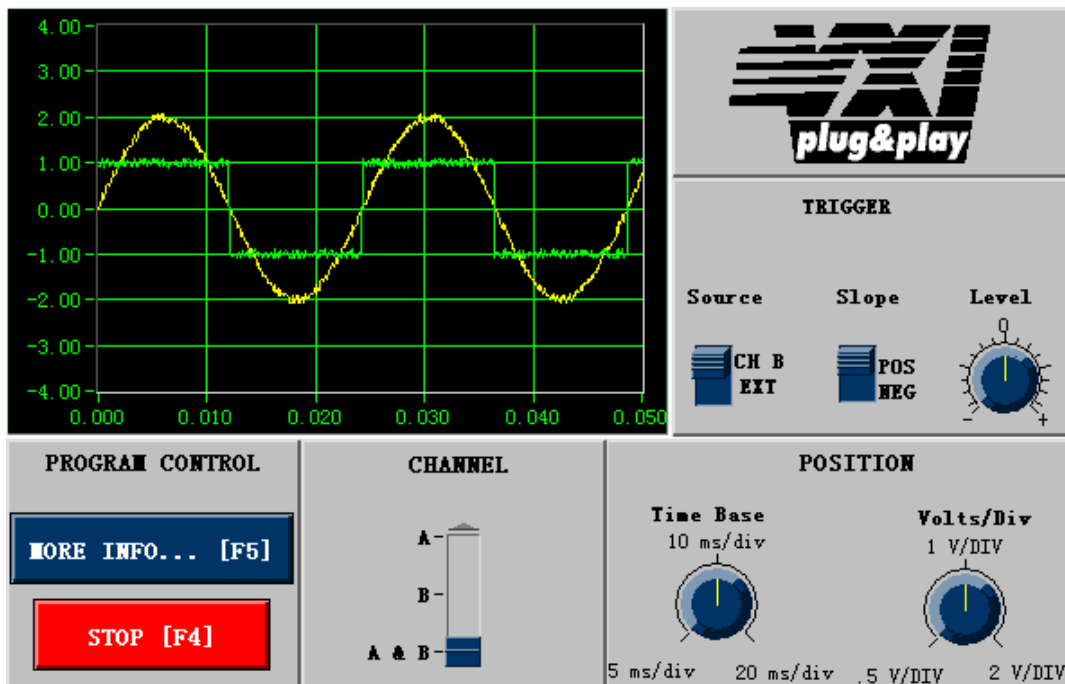


图 7.7 虚拟仪器信号测量软件前面板

程序框图是测试人员利用LabVIEW应用程序编制的测试程序源代码，LabVIEW程序的编写过程是将多个控制目标用数据流连接起来的过程，被连接的目标之间的数据流控制着执行次序，允许多个数据通路同步运行。图7.8是虚拟示波器的程序框图。

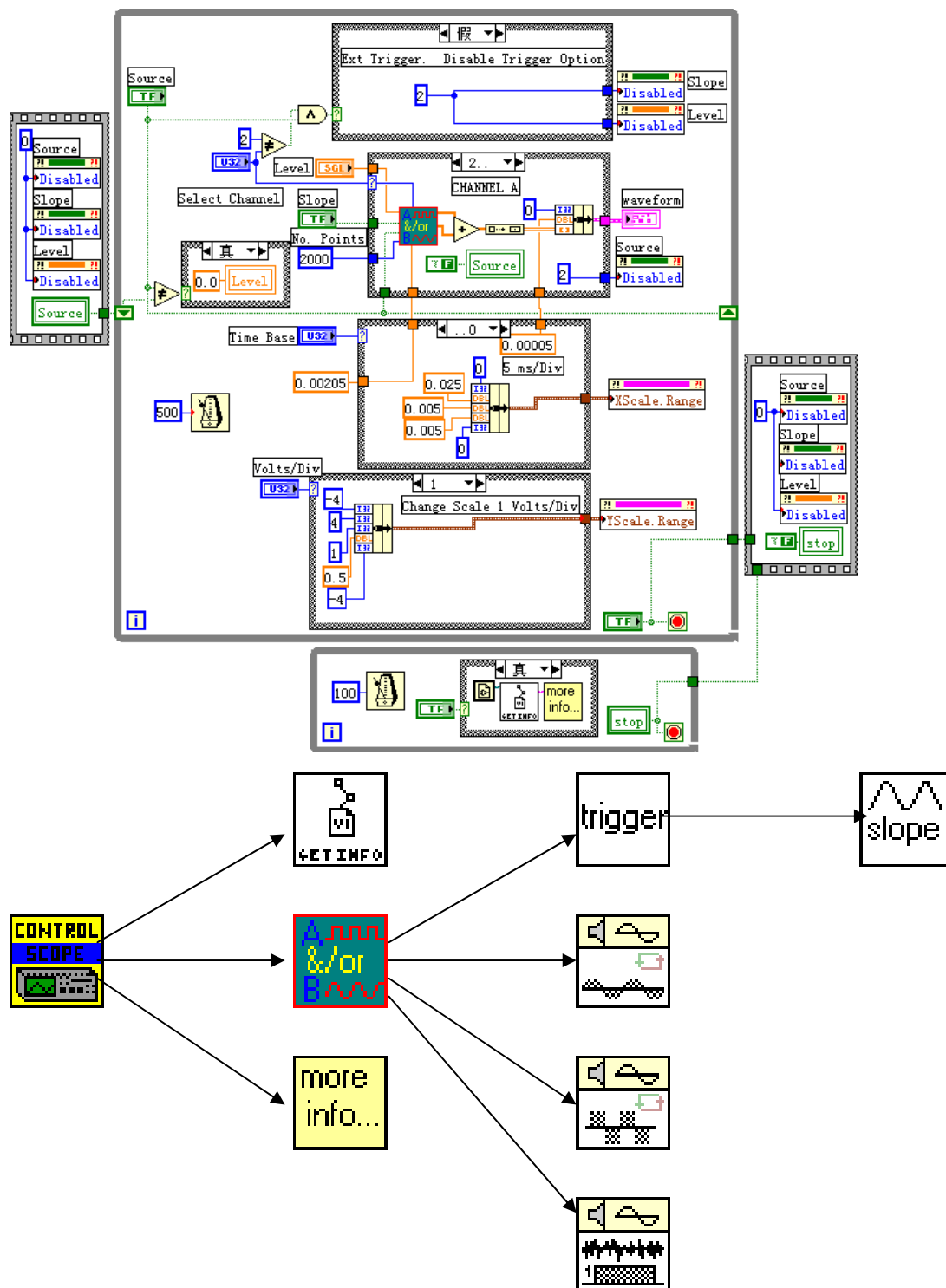


图 7.9 虚拟示波器程序的层次结构

图 7.9 为虚拟示波器程序的层次结构，最左边的 VI 为当前虚拟示波器的主程序，对应图 7.8 所示的虚拟示波器的程序框图，该程序功能通过调用三个次级子 VI 实现，次级 VI 又通过调用 trigger 子 VI 和 LabVIEW 内部函数实现信号采集的功能。

#### 四、 虚拟仪器的应用

虚拟测试技术使用户可以自行设定测试仪器的功能、结构等，容易构建，具有很好的发展潜力，目前虚拟仪器测试技术主要由国外几家大公司引领，如美国NI公司在这方面的技术发展迅猛，国内大多采用该公司的开发环境应用于各个行业，在短短的十几年时间里涌现出一大批大专院校、科研院所、企业单位从事虚拟仪器和测试系统的研究和开发工作，在航空航天、自动化控制、电力测试系统、汽车性能检测等领域有许多应用，随着计算机技术的不断发展，虚拟仪器将会得到进一步的发展和应用。

虚拟仪器以计算机技术为基础，可以实现虚拟仪器之间的数据传送，依靠计算机的网络技术，可实现网络化测试，具备网络功能的虚拟仪器，就称为网络化虚拟仪器。网络化虚拟仪器将虚拟仪器的功能进行分解，通过网络再将这些功能连接起来组成一个网络化的虚拟仪器系统，它不仅继承了虚拟仪器的优点，而且充分利用了网络的强大优势，使系统更加灵活、更加有效的利用计算机和仪器资源、用户界面更加开放。网络化虚拟仪器包括基于 Client/server模式的虚拟仪器和基于Web的网络化虚拟仪器，两者都是在虚拟仪器的基础上增加网络通讯能力，具有测量仪器和网络服务器的双重功能，从网络接收命令，提供远程测量服务。

习题：

- 7-1 什么叫智能仪表？有何特点？
- 7-2 简述自动测试系统的组成。
- 7-3 虚拟仪器和智能仪器相比有什么特点？