



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

虚拟仪器设计

詹惠琴 古 军 袁 亮 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

虚拟仪器设计

詹惠琴 古 军 袁 亮 编著



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

TP216
zh7

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。以测量技术和虚拟仪器原理为内容主线,详细阐述虚拟仪器设计与开发的硬、软件技术,分别讨论虚拟仪器中使用的 LabVIEW 软件开发平台、信号处理和数据采集、总线与接口技术、测试系统集成技术等,并给出了具体的软、硬件设计实例。

全书共八章,包括虚拟仪器概述、LabVIEW 软件编程技术、测试信号分析与处理技术、DAQ 虚拟仪器硬件技术和软件编程、虚拟仪器通用测试平台及设计实例、GPIB、VXI、PXI 和网络化等测控总线技术、虚拟仪器软件结构 VISA 和仪器驱动程序的规范及设计。

本书可用作测控技术与仪器、电气信息类、机电类专业本科生的教材,也可作为相关专业工程硕士的教材以及工程技术人员在学习和应用虚拟仪器技术时的参考书。

与本教材配套的精品课程网站,提供了更多的教学资源,欢迎访问。

网址:<http://202.115.21.138/wlxt/ncourse/xnyq/web/xuniyiqi/index.html>

图书在版编目(CIP)数据

虚拟仪器设计/詹惠琴,古军,袁亮编著. —北京:高等教育出版社,2008.6

ISBN 978-7-04-023955-3

I. 虚… II. ①詹…②古…③袁… III. 智能仪器—程序设计—高等学校—教材 IV. TP216

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第071084号

策划编辑	韩 颖	责任编辑	杜 炜	封面设计	于 涛	责任绘图	尹 莉
版式设计	马敬茹	责任校对	王 超	责任印制	韩 刚		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 廊坊市科通印业有限公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 27.5
字 数 670 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年6月第1版
印 次 2008年6月第1次印刷
定 价 34.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23955-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

前言

测量科学和仪器技术的发展是与现代科学技术,特别是与电子信息科学技术的最新发展紧密相连的。在过去的半个世纪里,电子测量技术及仪器的概念、原理和实现方法上发生着深刻的变革。电子仪器经历了模拟仪器、数字仪器、智能仪器、个人计算机仪器到虚拟仪器的发展历程。自动测试系统也经历了三代发展,再到虚拟仪器系统。

20世纪80年代中期,美国成功地将虚拟现实技术引入到仪器设计中,提出了虚拟仪器的概念,从而给仪器领域带来了革命性的变化。自此以后,伴随着计算机技术的高速发展,虚拟仪器的概念逐渐被越来越多的人所认识和接受,经过了20余年的技术改进和发展,它已经成为21世纪测试技术与仪器技术发展的一个重要方向,并且在众多领域得到广泛的应用。

所谓虚拟仪器,就是在以通用计算机为主体的硬件平台上,由用户设计定义的,具有虚拟面板,测试功能由测试软件实现的一种计算机仪器系统。使用者用鼠标或键盘操作虚拟面板,就如同使用一台专用的测量仪器。虚拟仪器的出现使测量仪器和个人计算机的界限消失,这是仪器领域的一次重大革命。

在虚拟仪器中“软件即仪器”,这是指按照测量原理采用适当的信号分析与处理,编制某种测量功能的软件就可构成该种功能的测试仪器,软件是虚拟仪器系统的关键。虚拟仪器的出现,打破了传统仪器由厂家事先定义,用户无法改变的工作模式,使得用户可以根据自己的需要,自行设计软件来定义和扩展测量功能,构成自己的仪器系统。与传统仪器相比,虚拟仪器在经济性、灵活性、扩展性和可维护性等方面都有独特的优势,它是一种崭新的仪器设计思想。

虚拟仪器技术是现代测量技术与现代信息技术相结合的产物,它把测量技术、计算机技术、通信技术、信号处理、软件技术等多种通用技术有机地融合于一体,把这些领域的最新成果应用于虚拟仪器之中。虚拟仪器的出现推动了测量原理及仪器技术的进步和发展,对科技发展和工农业生产具有不可估量的影响。

近10年来,笔者一直致力于把科学研究和工业领域中广泛应用的虚拟仪器技术引入到教学中,这是一件非常有意义的工作,因为虚拟仪器技术有如下显著优势:

- ① 虚拟仪器技术是一种先进的、创新的技术,适合培养具有创新精神和创新能力的人才;
- ② 虚拟仪器技术是一种综合的、集成的技术,有利于培养学生的综合应用和勇于实践的能力;
- ③ 虚拟仪器技术是一种经济的、实用的技术,有利于教学实践基地的规模化建设,能真正把实践能力的培养落到实处。

从虚拟仪器课程的开出,到虚拟仪器实验平台的开发和虚拟实验环境的建设,笔者经历了10余年的教学改革实践,取得了良好的效果。首先,学生抱以极大的兴趣和热忱,在一个良好的教学实践环境中,学到了先进、实用的技术。具体体现在:

- ① 虚拟仪器的“软件定义仪器”的虚拟性,具有可由学生自行定义的柔性结构,可给学生

一个充分发挥自己想象力、创造力和展示才能的空间,非常适合作为现代教学内容,并按照崭新的教学模式进行学生创新能力培养;

② 由于虚拟仪器建立在 PC 机的平台上,它能共享计算机丰富的软硬件资源和规模经济效益。它容易实现虚拟化和网络化的教学平台,它本身的资源可供他人在更大的范围内共享,具有功能强、性价比高的特点。因而用虚拟仪器建设现代化的实验室是一种经济高效的选择;

③ 开放式的虚拟仪器系统以计算机为基础,采用标准总线的开放式体系结构,以及把各种系统功能模块化的软硬件平台,具有组态灵活的积木式结构,构成一个综合的学生能力培养系统。

目前,由于虚拟仪器技术在国内普及和广泛应用,各地陆续出版了许多关于虚拟仪器技术方面的教材或专著。本书有别于这些教材和专著的特点主要体现在三个方面:首先是注重内容体系的完整性,使学生对虚拟仪器技术有全面的了解;其次是硬件与软件并重,特别是加强了硬件的介绍,有利于学生更深入地掌握虚拟仪器技术;最后,注重理论联系实际,注重选取应用实例的实用性。

本书以测量技术和虚拟仪器原理为内容主线,以计算机技术为基本平台,详细阐述虚拟仪器设计与开发的硬、软件技术。本书对于虚拟仪器技术中应用的软件及其开发平台技术、仪器原理和信号处理技术、总线与接口技术、测试系统集成技术等分别进行讨论。并利用 LabVIEW 虚拟仪器软件开发工具,对硬件和软件设计中各部分功能的实现给出具体的例程。同时为了密切联系测量实际,本书提供了大量不同层次的示例与实例,所举例子具有很强的实用性和针对性,便于读者阅读和理解,对读者学习虚拟仪器设计和开发具有极大的帮助。

全书共八章,第一章虚拟仪器概述,讨论了虚拟仪器的基本概念、形成和发展、系统结构等内容。第二章虚拟仪器软件开发平台,主要讨论了虚拟仪器软件开发平台 LabVIEW 的编程结构、数组、簇和字符串、图形化数据显示、文件操作等。第三章虚拟仪器的测试信号分析与处理技术,讨论了测试信号的产生、时域分析和处理、相关分析和卷积运算、数字滤波器的软件实现、信号和系统的频域分析及软件实现等。第四章 DAQ 虚拟仪器硬件技术,讨论了数据采集(DAQ)中的信号调理技术、A/D 转换技术、数据存储与数据传输技术、PCI 总线及其接口技术等,最后进行了多功能数据采集卡的典型实例分析。第五章 DAQ 虚拟仪器软件编程,介绍了 LabVIEW 的 DAQ 编程,包括模拟输入和输出、数字 I/O 和计数器、DAQmx——新版 DAQ 库、硬件接口编程方式等。第六章虚拟仪器通用测试平台及应用,讨论了高速多功能 DAQ 主板、模拟输入信号的调理、采集及存储系统、DDS 信号源的设计、数字存储示波器和频率特性测试仪设计。第七章虚拟仪器系统集成的总线技术,讨论了 GPIB、VXI、PXI 和网络化等测控总线技术。第八章仪器驱动器设计,讨论了虚拟仪器软件结构 VISA、VPP 仪器驱动程序、IVI 驱动器等的规范及设计。

本书是“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”,适用于测控技术与仪器、电气信息类、机电类专业本科生的教材,也可作为相关专业工程硕士的教材以及工程技术人员在学习和应用虚拟仪器技术时的参考书。建议教学学时 48~60 学时,其中实验学时约占总学时的三分之一。

本书由詹惠琴主编,第 1、3、4、6 章由詹惠琴编写,第 2、5 章由古军编写,第 7 章由袁亮编写,第 8 章由古军和袁亮共同编写。

本书由古天祥教授审稿,审稿中提出了许多宝贵的意见和建议,在此谨表示衷心的感谢。

此外王厚军教授、田书林教授、童玲教授、习友宝教授为本书提出了许多建议，袁渊老师为本书提供了部分技术资料，在此表示感谢。还有博士生贾春华、蒋世奇、刘玮进行了公式、文字、图片的校对和整理，并设计了部分程序实例，硕士研究生张丽娜、徐林、燕浩、唐伟做了大量的图表绘制，电子文档的录入、修改、排版、打印，他们为本书的出版付出了辛勤的工作。此外，周惠艳、孙昊、梁璨、王军、余珊珊等验证了书中的部分程序，在此一并表示衷心的感谢。最后，感谢本书的策划编辑韩颖老师为本书的编辑、出版提供了许多宝贵的建议和支持。

由于编者水平有限，对于本书中的错误和不完善之处，恳请读者指正。

编者

2008年1月

目 录

1 虚拟仪器概述	1	2.2.3 LabVIEW 的模板	34
1.1 虚拟仪器的基本概念	1	2.2.4 LabVIEW 的数据类型	38
1.1.1 虚拟仪器的定义	1	2.2.5 控件的属性设定	39
1.1.2 虚拟仪器的特点	3	2.2.6 创建 VI 程序	43
1.2 虚拟仪器的形成和发展	4	2.2.7 VI 子程序	47
1.2.1 虚拟仪器形成的背景	4	2.3 LabVIEW 的程序结构	50
1.2.2 虚拟仪器的提出	9	2.3.1 For 循环	50
1.2.3 虚拟仪器的发展与展望	10	2.3.2 While 循环	53
1.3 虚拟仪器的系统结构	11	2.3.3 Case 结构	54
1.3.1 虚拟仪器的系统组成和基本功能	11	2.3.4 顺序结构	55
1.3.2 虚拟仪器的通用仪器硬件平台	13	2.3.5 事件结构	57
1.4 虚拟仪器的软件系统	16	2.3.6 公式节点	60
1.4.1 虚拟仪器的软件层次结构	16	2.3.7 局部变量和全局变量	61
1.4.2 虚拟仪器软件系统的标准化	18	2.4 数组、簇和字符串	63
1.4.3 VXI 总线虚拟仪器的软件框架结构	21	2.4.1 数组	63
1.4.4 虚拟仪器的软件开发环境	22	2.4.2 簇	72
1.5 虚拟仪器技术应用	24	2.5 图形化数据显示	79
1.5.1 虚拟仪器应用概况	24	2.5.1 图形控件模板	79
1.5.2 虚拟仪器技术在若干领域		2.5.2 Waveform Chart	80
的应用简介	25	2.5.3 Waveform Graph	84
习题与思考题	26	2.5.4 XY Graph 和 Express XY Graph	86
2 虚拟仪器软件开发平台	27	2.5.5 Digital Waveform Graph	87
2.1 虚拟仪器软件开发平台介绍	27	2.5.6 三维图形显示	88
2.1.1 概述	27	2.6 文件操作	90
2.1.2 LabVIEW	27	2.6.1 LabVIEW 的文件类型	90
2.1.3 LabWindows/CVI	29	2.6.2 文件 I/O 函数	91
2.1.4 Agilent VEE	29	2.6.3 文本文件的输入和输出	98
2.2 LabVIEW 编程初步	30	2.6.4 电子表格文件的输入和输出	100
2.2.1 LabVIEW 的基本 VI 介绍	30	2.6.5 二进制文件的输入和输出	101
2.2.2 LabVIEW 的基本开发环境	32	2.6.6 数据记录文件的输入和输出	103
		习题与思考题	104

3 虚拟仪器的测试信号分析

与处理技术.....106

3.1 测试信号分析处理概述.....106

3.1.1 测试信号的基本类型.....106

3.1.2 测试信号的描述.....108

3.1.3 虚拟仪器测试信号分析处理 程序的基本内容.....112

3.1.4 LabVIEW 中的测试信号分析处理 函数库简介.....113

3.2 测试信号产生.....115

3.2.1 测试信号产生途径和波形数据 表示.....115

3.2.2 仿真信号产生函数.....117

3.2.3 仿真信号发生器 Simulate Signal.vi.....118

3.2.4 多谐波信号附加噪声的波形发生器 Tones and Noise Waveform .vi.....120

3.2.5 公式节点产生仿真信号.....122

3.3 信号波形的时域测量和处理.....124

3.3.1 信号的幅值特征值.....124

3.3.2 信号的时间特征值.....128

3.3.3 信号的相位特征值.....129

3.3.4 信号运算及 LabVIEW 实现.....129

3.3.5 波形修整、越限监测和波形操作.....132

3.4 测试信号的相关分析和卷积 运算.....135

3.4.1 测试信号的相关分析.....135

3.4.2 卷积积分.....137

3.4.3 在 LabVIEW 中进行相关分析和 卷积运算.....137

3.5 数字滤波器在虚拟仪器中的应用 及其软件实现.....140

3.5.1 调用数字滤波器子程序的几个 问题.....140

3.5.2 在 LabVIEW 中应用滤波器.....141

3.6 信号和系统的频率分析技术及其 软件实现.....146

3.6.1 离散傅里叶变换.....146

3.6.2 在 LabVIEW 中的频谱分析 VI.....148

3.6.3 功率谱分析及其 VI.....153

3.6.4 谐波分析及其 LabVIEW 实现.....154

3.7 逐点分析库.....157

3.8 虚拟仪器中其他常用数据处理 技术.....158

3.8.1 概率和统计函数.....158

3.8.2 曲线拟合.....159

3.8.3 线性代数.....160

习题与思考题.....161

4 DAQ 虚拟仪器硬件技术.....162

4.1 数据采集 (DAQ) 及数据采集 系统 (DAS).....163

4.1.1 数据采集的基本概念.....163

4.1.2 数据采集系统基本组成.....163

4.1.3 数据采集系统的主要性能指标.....166

4.2 信号获取与信号调理技术.....167

4.2.1 信号获取方法和途径.....167

4.2.2 采集信号调理的主要功能.....168

4.2.3 模拟开关.....169

4.2.4 测量放大电路.....171

4.2.5 模拟量 (激励信号) 输出.....172

4.3 采样保持与 A/D 转换技术.....175

4.3.1 采样保持器.....175

4.3.2 A/D 转换器的分类和指标.....177

4.3.3 高速 A/D 转换器的原理.....181

4.4 数据存储与数据传输技术.....185

4.4.1 ADC 与 CPU 直接数据传输.....185

4.4.2 基于高速数据缓存技术的数据 传输方式.....187

4.5 PCI 总线及其接口技术.....189

4.5.1 基于 PCI 总线数据采集卡的总体 设计方案.....189

4.5.2 PCI 总线概述.....190

4.5.3 PCI 总线接口设计.....193

4.6 多通道的组建方案.....196

4.6.1 不带采样/保持器的 A/D 转换通道.....197

4.6.2 带采样/保持器的 A/D 转换通道.....	198	(CIN 方式)	249
4.7 多功能数据采集卡典型实例分析 ..	200	5.7.3 调用动态链接库的方式	
4.7.1 多功能数据采集卡概述	200	(CLF 方式)	249
4.7.2 PCI-1200 的组成原理及技术性能	202	习题与思考题.....	257
4.7.3 模拟输入信号的连接	207	6 虚拟仪器通用测试平台及应用	258
4.7.4 PCI-1200 卡的功能单元	212	6.1 概述.....	258
4.7.5 数据采集的工作原理	220	6.1.1 虚拟仪器通用测试平台的组成.....	258
习题与思考题	226	6.1.2 虚拟仪器通用测试平台的应用.....	259
5 DAQ 虚拟仪器软件编程.....	227	6.2 高速多功能 DAQ 主板	259
5.1 DAQ 软件的组成.....	227	6.2.1 高速数据采集技术概况	259
5.1.1 数据采集卡的驱动软件	227	6.2.2 高速数据采集的关键技术.....	260
5.1.2 PC-DAQ 仪器的应用软件编程	228	6.2.3 高速多功能 DAQ 主板的方案.....	261
5.2 LabVIEW 的 DAQ 软件概述	229	6.3 模拟输入信号的调理.....	262
5.2.1 引言.....	229	6.3.1 模拟输入通道的组成和量程设计.....	262
5.2.2 传统 DAQ 库 VI	230	6.3.2 前级调理电路的设计	263
5.3 模拟输入	231	6.3.3 后级驱动放大器的设计	265
5.3.1 模拟输入 VI 的分类.....	231	6.4 高速采集及存储系统设计	266
5.3.2 初级模拟输入 VI	232	6.4.1 采集和存储系统方案设计.....	266
5.3.3 中级模拟输入 VI	234	6.4.2 采集系统核心器件——AD9288	268
5.3.4 设计示例——连续信号采集		6.4.3 ADC 设计的几点考虑.....	269
与显示仪	235	6.4.4 采集存储器的读写控制	272
5.4 模拟输出	236	6.5 时序控制逻辑设计	272
5.4.1 模拟输出的分类	236	6.5.1 关于采集速率的设计	272
5.4.2 初级模拟输出 VI	236	6.5.2 触发电路的设计	273
5.4.3 中级模拟输出 VI	238	6.5.3 基于 FPGA 的时序逻辑控制电路.....	276
5.5 数字 I/O 和计数器	240	6.6 DDS 信号源的设计	278
5.5.1 数字 I/O VI	240	6.6.1 DDS 信号源概述	278
5.5.2 计数器 VI	241	6.6.2 DDS 信号发生模块的原理和设计	280
5.6 DAQmx——新版 DAQ 库.....	244	6.7 模拟输出信号的调理技术	288
5.6.1 引言	244	6.7.1 模拟输出通道的组成框图.....	288
5.6.2 DAQ Assistant	244	6.7.2 输出频率	288
5.6.3 DAQmx 的应用	246	6.7.3 输出幅度调节	289
5.6.4 共用传统 DAQ 和 DAQmx	247	6.7.4 直流偏置的调节	291
5.7 非 NI 公司的数据采集卡 DAQ		6.7.5 放大器选择	291
编程.....	248	6.8 虚拟仪器的软件设计.....	292
5.7.1 直接端口读/写方式 (I/O 方式)	248	6.9 数字存储示波器的软件设计.....	293
5.7.2 调用 C 语言源代码的方式		6.9.1 功能和要求	293

6.9.2 前面板设计	294	7.5.1 引言	346
6.9.3 框图程序设计	297	7.5.2 测试系统的分布式体系结构	347
6.10 频率特性测试仪的软件设计	298	7.5.3 网络体系结构及网络协议	348
6.10.1 频率特性测试仪原理	298	7.5.4 网络型测试系统的组网模式	351
6.10.2 频率特性测试仪前面板	299	7.5.5 网络型测试系统的实现技术	352
6.10.3 框图程序设计	300	7.5.6 LXI 总线	363
习题与思考题	301	习题与思考题	371
7 虚拟仪器系统集成的总线技术	303	8 仪器驱动器设计	373
7.1 总线概述	303	8.1 虚拟仪器软件结构 VISA	373
7.1.1 总线的定义和分类	303	8.1.1 VISA 的基本概念	373
7.1.2 总线标准与标准总线	305	8.1.2 VISA 的组成原理	376
7.1.3 测控总线	307	8.1.3 VISA 编程及应用实例	380
7.2 GPIB 总线	310	8.1.4 VISA 在 LabVIEW 中的实现	385
7.2.1 GPIB 总线概述	310	8.2 VPP 仪器驱动程序	390
7.2.2 GPIB 总线的主要特征	311	8.2.1 仪器驱动器概述	390
7.2.3 GPIB 接口功能	313	8.2.2 VPP 仪器驱动器的结构模型	393
7.2.4 GPIB 接口总线组成	314	8.2.3 仪器驱动程序函数简介	396
7.2.5 三线通信联络过程	317	8.2.4 仪器驱动程序功能面板	398
7.2.6 GPIB 系统的 LabVIEW 编程	318	8.3 基于 IVI 规范的互换型驱动器	400
7.3 VXI 总线	321	8.3.1 IVI 概述	400
7.3.1 VXI 总线概述	321	8.3.2 IVI 驱动器的类型	402
7.3.2 VXI 总线的结构	323	8.3.3 IVI 函数库	406
7.3.3 VXI 总线系统控制方案	327	8.3.4 IVI 特定驱动程序的开发	408
7.3.4 VXI 系统的 LabVIEW 编程	330	8.4 VPP 仪器驱动程序设计	410
7.4 PXI 总线	333	8.4.1 VPP 仪器驱动程序设计概要	410
7.4.1 PXI 总线概述	333	8.4.2 VPP 仪器驱动程序的设计实例	414
7.4.2 PXI 的机械结构	335	8.5 LabVIEW 仪器驱动程序	423
7.4.3 PXI 的电气结构	337	8.5.1 仪器驱动程序的获得与安装	423
7.4.4 PXI 的软件结构	339	8.5.2 验证仪器驱动软件	424
7.4.5 并行测控总线性能分析对比	343	习题与思考题	425
7.5 网络化总线技术	346	参考文献	426

1.1 虚拟仪器的基本概念

1.1.1 虚拟仪器的定义

所谓虚拟仪器，是一种以计算机和测试模块的硬件为基础、以计算机软件为核心所构成的，并且在计算机显示屏幕上虚拟的仪器面板，以及由计算机所完成的仪器功能，都可由用户软件来定义的计算机仪器。

测试仪器种类很多，功能也各异。但不论是何种仪器，就其内部所具有的基本功能而言，都可以概括为信号采集与产生、信号分析与处理、参数置入与结果输出等三个部分，如图 1-1 所示。虚拟仪器的定义，正是从实现这三个基本功能的技术特点来表述的，对此进一步阐述如下：

1. 虚拟仪器的硬件是通用的

虚拟仪器的硬件是由计算机和测试模块构成的，硬件的通用性可以从以下几方面说明：通用计算机是虚拟仪器的基础硬件平台，它是仪器完成信号采集、数据处理和结果显示三个基本功能（见图 1-1）的共同支撑平台，所以它是通用的。此外，通用性还体现在计算机不仅作为一台虚拟仪器使用，而且同样也可以作一般通用计算机使用。

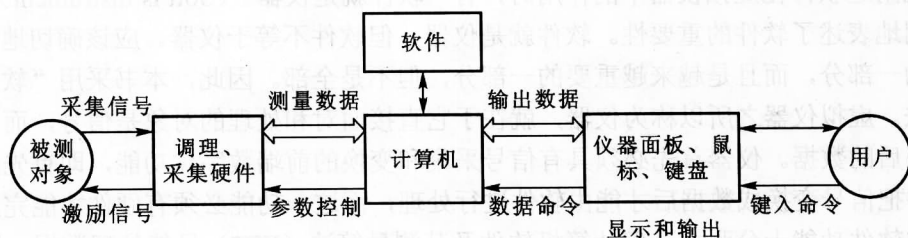


图 1-1 测量仪器的三个基本功能组成框图

测试硬件模块也是通用的。首先，虚拟仪器的测试硬件实现的最基本、最核心的功能是数字化功能，基本 I/O 部件是 A/D 转换器及其信号调理电路，其主要任务是采集真实世界中的被测信号，并把它转换成计算机能处理的数字信号（测量数据）。在同一 A/D 转换器的硬件平台

上使用不同的测试软件,可构造出“电子计数器”、“数字多用表”、“数字示波器”、“频谱分析仪”等多种电子仪器,这些仪器的测试硬件是公用的。

硬件的通用性也体现在硬件系统平台的标准化设计上,采用通用的标准总线及接口技术,采用机械特性、电气特性规范化的硬件模块,采用模块化、标准化的软件设计,实现了即插即用,即实现了不同厂家、不同型号的仪器硬软件资源的互换性、通用性。

2. 虚拟仪器的面板是虚拟的

测量仪器的面板是在测量过程中实现人仪对话的基本部件,通过它的各种开关、按键、旋钮等完成仪器的各种工作参数的设置(如功能、频段、量程等参数置入),从它的读盘、数码管或显示屏上读出测量结果。传统仪器面板上的器件都是“实物”,而且操作是“手动”的。

虚拟仪器的面板是在计算机屏幕上虚拟出来的。虚拟面板上的各种“控件”与传统仪器面板上的各种器件所完成的功能是相同的,且其外形也是采用与实物相像的“图标”来表示的,实际功能是通过相应的软件程序实现的。通过虚拟面板上各种图标表示的开关、按钮、显示器对虚拟仪器进行操作,控制仪器电源的“通”或“断”、设置被测信号“输入通道”、“放大倍数”、“滤波特性”等参数,以及测量结果的“数值显示”或“波形显示”等。每个控件的“通”、“断”、“放大”等动作是通过用户对计算机鼠标或键盘的操作来完成的。虚拟仪器之所以能接受软面板的控制,是建立在仪器数字化的基础上的。首先,仪器内的被控部件和电路,如可变电容器和电位器,仪器的功能、量程、频段、电源等选择开关,VCO、DDS单元电路等,都是可电控、可编程的。而传统仪器通过面板上的开关、旋钮等对仪器内部的部件和电路实施的控制则是手动的。

3. 虚拟仪器的功能是由用户软件定义的

传统仪器的功能通常是由具体的模拟或数字电路来实现的,是由硬件或固化的软件决定,即采用刚性物质的实体结构来实现的,功能是固定的。虚拟仪器是在以计算机为核心组成的硬件平台支持下,测试硬件模块仅完成前端的信号采集和产生功能,不承担分析处理和显示输出等功能,而虚拟仪器中不仅可以通过软件编程设计来实现某种仪器的功能,而且可以通过不同测试功能的软件模块的组合来实现多种仪器的功能。虚拟仪器是由软件定义的,它是一种被软化了柔性结构方式。

人们在阐述软件在虚拟仪器中的作用时,有“软件就是仪器”(Soft is Instrument)的说法,它非常鲜明地表述了软件的重要性。软件就是仪器,但软件不等于仪器。应该确切地说,软件就是仪器的一部分,而且是越来越重要的一部分,但不是全部。因此,本书采用“软件定义仪器”的说法。虚拟仪器之所以称为仪器,就在于它直接面对和处理的对象是信号,而不是信号经数字化之后的数据。仪器首先必须具有信号采集和变换的前端数字化功能,即首先必须获取到信号,并把信号变换成数据后才能由软件进行处理,而这一功能必须有硬件才能完成。虽然虚拟仪器的软件功能十分强大,但计算机软件及其测量算法(FFT)只能处理数据,即数字化后的信号(数字信号)。就虚拟仪器软件来说,应包含仪器的测量原理及测量方法、数学模型及边界条件、软件算法及程序等信息性的东西,它们都只是仪器的一部分。软件加硬件,才能构成一个功能完整的仪器。

1.1.2 虚拟仪器的特点

1. 传统仪器的特点

传统的电子测量仪器,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。其共同特点是仪器由厂商制造,具有固定不变的操作面板,采用固定不变的硬件电子线路和专用的接口器件,采用固化了的系统软件,而且功能固定,用户只能用单台仪器完成单一的或固定的测试工作。

从外观上看,传统仪器一般是一台独立的装置,其外部一般由操作面板、信号输入端口、检测结果输出显示器件这几个部分组成。操作面板上一般有一些开关、按钮、旋钮、调节机构等,通过它们对仪器内部可控、可调部件和电路实施直接的手动控制与调节。测量结果的输出方式有数字显示、指针式表头显示、图形显示及打印输出等。

从功能方面来看,传统仪器所包含的三个基本功能(见图 1-1)都是通过硬件电路或固化软件实现的,而且由仪器生产厂家给定,其功能和规模一般都是固定的,用户无法随意改变其结构和功能。传统仪器大都是一个封闭的系统,与其他设备的连接受到限制。

另外,传统仪器价格昂贵,技术更新慢(周期为 5~10 年),开发费用高。随着计算机技术、微电子技术和大规模集成电路技术的发展,出现了数字化仪器和智能仪器。尽管如此,传统仪器还是以独立使用和手动操作的模式为主,在较为复杂的应用场合或测试参数较多的情况下,使用起来就不太方便。

2. 虚拟仪器的技术特点

与传统仪器相比,虚拟仪器有以下特点。

(1) 仪器功能方面

1) 虚拟仪器是一种创新的计算机仪器,而非一种传统意义上的具体的仪器。它是一种功能意义上而非物理意义上的仪器,仪器功能可由用户软件定义,柔性结构,灵活组态,给了用户一个充分发挥自己能力和想象力的空间。

2) 一台计算机被设计成多台不同功能的测量仪器,能集多种功能于一体,构成多功能和多用途的综合仪器,极大地丰富和增强了传统仪器的功能。

3) 由于计算机有极其丰富的软件资源、极高的运算速度和庞大的存储空间,对测量数据有强大的分析和处理能力,可以进行快捷、实时的处理,也可以将数据存储起来,以供需要时调出分析之用。这种能力所引伸出的仪器功能,在传统仪器中是不可能具有的。

(2) 用户界面方面

1) 友好的人机交互界面使仪器的使用操作十分简便,图形化的用户界面形象、美观,可以方便地由用户自己定义,使之更具个性化。

2) 功能复杂的仪器面板可以划分成几个分面板,这样在每个分面板上就可以实现功能操作的单纯化和面板布置的简洁化,从而提高操作的正确性与便捷性。

3) 软面板上虚拟的显示器件和操作元件的种类与形式不受“标准件”和“加工工艺”的限制,通过编程可随时从库中取用,可根据用户认知要求和操作要求来进行面板设计,具有极大

的灵活性和创新性。

(3) 系统集成方面

1) 由于虚拟仪器硬件和软件都制定了开放的工业标准和基于计算机的开放式标准体系结构, 用户可以将仪器的设计、使用和管理统一到一个标准上来, 提高资源的可重复利用率, 可以根据需要选用不同厂家的产品, 可以随心所欲地集成一个满足复杂测试要求的虚拟仪器系统, 其开发技术难度低、效率高、周期短、成本低。

2) 基于标准化的计算机总线和仪器总线, 仪器硬件实现了模块化、系列化, 大大方便了系统集成, 缩小了系统尺寸, 提高了系统的工作速度。加之软件的标准化和互换性, 可方便地组建小型化、多用途、高性能的即插即用的模块化仪器系统。

3) 基于计算机网络技术的虚拟仪器网络化技术, 广泛支持各种网络标准, 可实现方便灵活的互连, 可以通过高速计算机网络组建一个大型的分布式测试系统, 即构成网络化的集成系统, 进行远程测试、监控与故障诊断。

决定虚拟仪器具有传统仪器不可能具备的特点的根本原因在于“虚拟仪器的关键是软件”。

3. 虚拟仪器与传统仪器比较

虚拟仪器和传统仪器的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 虚拟仪器和传统仪器的比较

比 较 内 容	虚 拟 仪 器	传 统 仪 器
系统构成	软件和通用硬件。软件是关键	专用硬件系统
开发周期	开发时间短、技术要求低、系统通用性强	开发时间长、技术要求高、系统功能较专一
开发费用	软件使得开发和维护费用降至最低	开发与维修开销高
技术更新周期	短 (1~2 年)	长 (5~10 年)
价格	价格低、可复用与可重配置性强	价格昂贵
功能可塑性	用户定义仪器功能, 柔性	厂商定义仪器功能, 刚性
系统开放性	开放、灵活, 与计算机技术同步发展	封闭、固定
构成复杂系统能力	易与网络及其他周边设备互连	功能单一的独立设备
人机交互	软面板、无限的显示选项、界面友好	硬面板、有限的显示选项

1.2 虚拟仪器的形成和发展

1.2.1 虚拟仪器形成的背景

计算机技术、软件技术、微电子与超大规模集成电路的发展及其在电子测量技术与仪器领域中的应用, 使新测试理论、测试方法、测试技术不断出现, 仪器与系统的结构不断推陈出新,

电子测量仪器的功能和作用也发生了质的变化。特别是计算机技术和测试技术更紧密的结合,更加有效地发挥了计算机的作用,使仪器的结构概念和设计观点等都发生了革命性的变化。在上述的背景下,产生了全新概念的仪器——虚拟仪器。为了更深刻地认识虚拟仪器,让我们回顾一下近 50 年来测试技术及仪器的发展历程,从电子测量仪器和自动测试系统两条发展线索来理解虚拟仪器形成的必然性。

1. 电子测量仪器的发展

测量仪器仪表在机械式、磁电式等指针式仪表的基础上,引入电子技术,出现了电子测量技术和电子测量仪器。电子测量仪器发展至今,大体上经历了模拟仪器、数字仪器、智能仪器 and 虚拟仪器几个阶段,如图 1-2 所示。

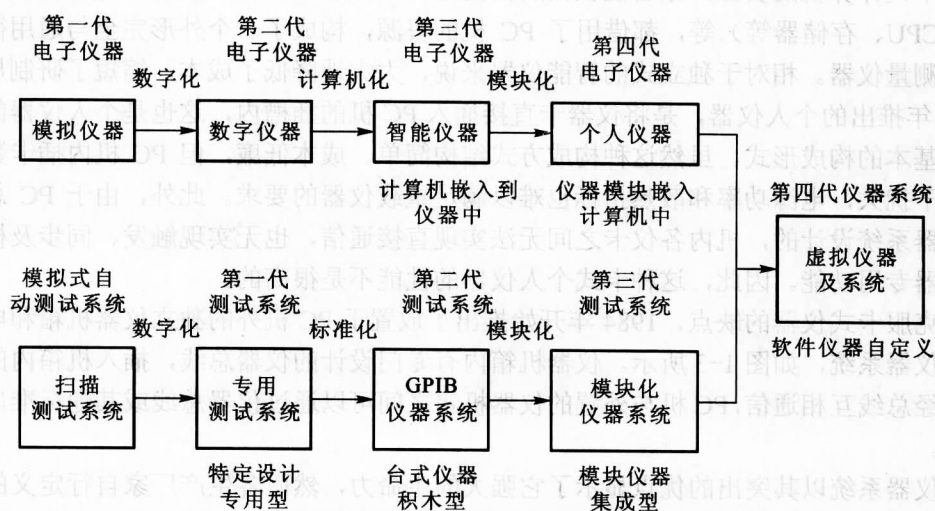


图 1-2 测量仪器及测试系统的发展历程示意图

(1) 模拟仪器

以模拟电子技术和分立式电子元器件为基础,以电子管或晶体管模拟电子电路为主体所构成的模拟式电子测量仪器,测量、处理、显示对象均为模拟信号。仪器的电子化技术及电子仪器的出现,是仪器仪表技术发展中的一个重要里程碑。

(2) 数字仪器

以模/数转换、数字逻辑技术为基础,以大规模集成电路为主体所构成的数字式仪器,对被测的模拟信号进行 A/D 转换后,传输、处理和存储的信号均为数字信号,测量结果为数字显示。数字化是智能仪器、个人仪器和虚拟仪器的基础,是计算机技术引入到测量仪器的前提。

(3) 智能仪器

把一个微型计算机系统嵌入到数字式电子测量仪器中,构成独立式智能仪器。嵌入的计算机系统可以是芯片级(如单片机、DSP 等)、模板级(如 PC-104),也可以是系统级(如微型计算机系统、SOC)。智能仪器在结构上自成一体,具有仪器的外观,内部自身带有专用的微型计算机系统和 GPIB 接口,能独立进行测试工作。

智能仪器由于引入计算机,功能强大、性能优异、使用灵活方便,是现阶段中高档电子仪器的主体。目前,智能仪器在技术上已经比较成熟,大多数传统的电子仪器已逐步被智能仪器取代。但目前的各类智能仪器中,其智能内涵和智能化水平各不相同。随着科学技术的发展,随着新技术、新器件、新工艺和嵌入式系统技术的不断进步,智能仪器还在不断发展,不断推陈出新,不断提高其智能化水平。

(4) 个人仪器

把测试功能的硬件模块,做成一个 I/O 插卡(仪器卡),插入(嵌入)到通用的个人计算机的总线扩展插槽中,再配置相应的测试软件,使计算机完成测量仪器的功能,构成一个以 PC 机为基础的个人计算机仪器,简称个人仪器(也称为 PC 基仪器或计算机仪器)。个人仪器充分地利用了个人计算机的资源,原智能仪器所需的电源、机箱、面板、键盘与显示器以及嵌入的计算机(CPU、存储器等)等,都借用了 PC 机的资源,构成了一个外形完全与通用微型计算机一样的测量仪器。相对于独立式的智能仪器来说,大大地降低了成本,缩短了研制周期。

1982 年推出的个人仪器,是将仪器卡直接插入 PC 机的插槽内,这也是个人仪器的一种最简单、最基本的构成形式。虽然这种构成方式结构简单、成本低廉,但 PC 机内插卡数目很有限,机内干扰大,电源功率和散热指标也难以满足重载仪器的要求。此外,由于 PC 总线不是专门为仪器系统设计的,机内各仪卡之间无法实现直接通信,也无实现触发、同步及模拟信号传输等仪器专用功能。因此,这种卡式个人仪器的性能不是很高的。

为了克服卡式仪器的缺点,1984 年开始推出了放置于 PC 机外的独立仪器机箱和电源的外置式个人仪器系统,如图 1-3 所示。仪器机箱内有专门设计的仪器总线,插入机箱内的多种仪器插卡可经总线互相通信,PC 机与外置的仪器机箱之间可以通过仪器总线或其他标准串行总线进行通信。

个人仪器系统以其突出的优点显示了它强大的生命力,然而各生产厂家自行定义的仪器总线无统一标准,不同厂商的机箱、仪器模块等产品之间兼容性很差,用户在组建个人仪器系统时,不同厂家生产的仪器插卡难以集成在一起,妨碍了个人仪器的发展。因此,1987 年提出来了适合个人仪器系统标准化的 VXI 总线系统。VXI 系统的出现是个人仪器系统发展的必然结果。

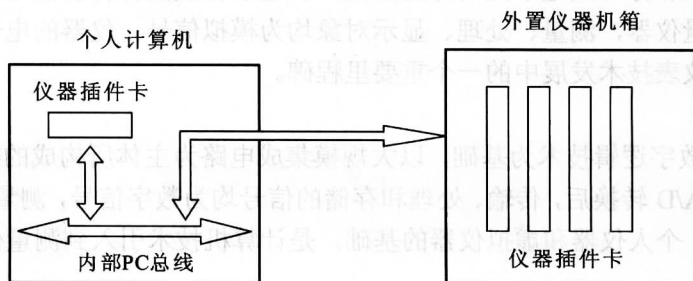


图 1-3 个人仪器的组成

早期的个人仪器系统内,强调硬件最少,通常系统的内嵌插卡上或外置机箱内不含微型计算机,而将各仪器卡的控制和处理工作统一由 PC 机来处理,使得 PC 机的工作效率和个人仪器系统的工作速率都不高。在个人仪器的进一步发展,也把微型计算机系统模块化,做成一个