

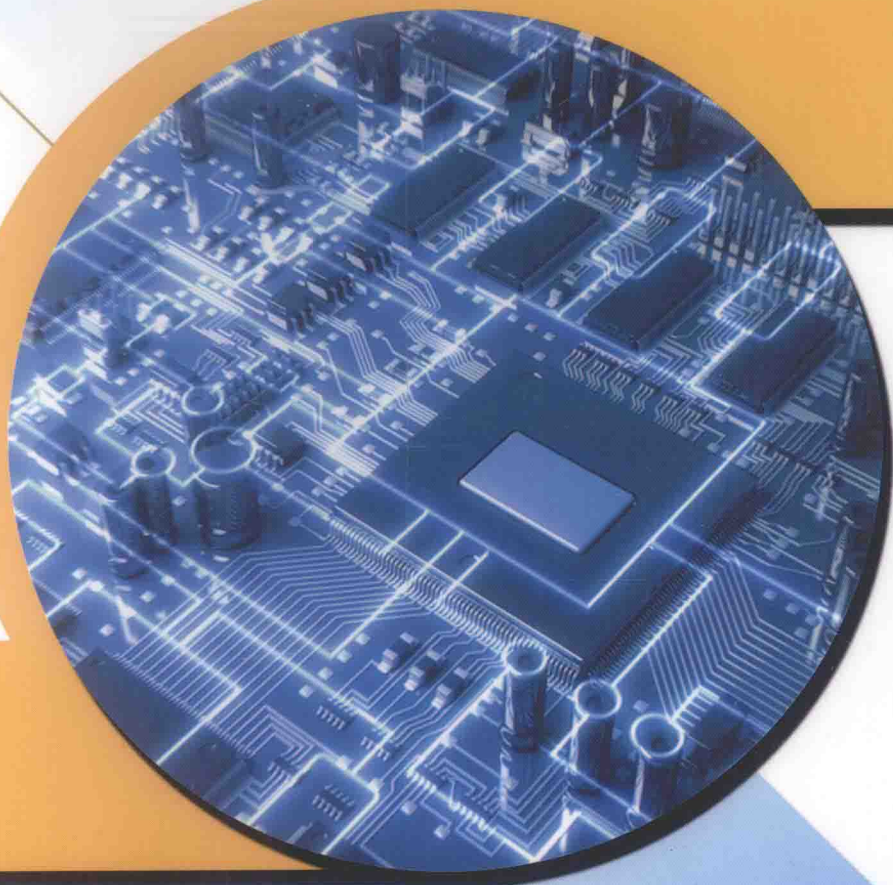
高等学校电子信息类规划教材

电子测量技术基础

DIANZICELIANGJISHUJICHU

(第2版)

高礼忠 杨吉祥◎编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

高等学校电子信息类规划教材

电子测量技术基础

(第2版)

高礼忠 杨吉祥 编著

东南大学出版社

·南京·

内 容 提 要

书中主要讲述电子测量的基本概念、各种电信号、电子元器件、网络参数及数字系统的测试原理和测量方法,以及常用电子测量仪器的原理与应用。具体内容包括:误差理论和数据处理、电压和电流测量、时间和频率测量、信号源、信号波形的显示和测量、信号分析、逻辑分析仪、电子元器件及网络参数测量、仪器总线及虚拟仪器等。

本书在2004年修订版的基础上,对任意波形发生器、数字示波器、逻辑分析仪、频谱分析仪以及虚拟仪器 and 仪器总线等内容,作了较大篇幅的修改与更新,特别增加了数字荧光示波器、实时频谱分析技术、LabWindows/CVI及其在虚拟仪器设计中的应用、最新的仪器总线PXIe、LXI、AXIe总线技术等全新的内容进行了介绍。

本书可作为普通高等院校电子类及信息类各专业本科生和硕士研究生的教材,也可供广大科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量技术基础 / 高礼忠, 杨吉祥编著. —2版.

—南京:东南大学出版社, 2015. 8

ISBN 978-7-5641-5997-9

I. ①电… II. ①高… ②杨… III. ①电子测量技术—高等学校—教材 IV. ①TM93

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第211004号

书 名 电子测量技术基础(第2版)

编 著 高礼忠 杨吉祥

责任编辑 朱经邦

责任印制 张文礼

封面设计 王 玥

出版发行 东南大学出版社

出 版 人 江建中

社 址 南京市四牌楼2号(邮编210096)

印 刷 大丰市科星印刷有限责任公司印刷

经 销 全国各地新华书店

开 本 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 23

字 数 598 千

版 次 2015年8月第2版

印 次 2015年8月第1次印刷

印 数 1—3 000 册

书 号 ISBN 978-7-5641-5997-9

定 价 49.80 元

本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系。电话(传真):025-83791830。

前 言

本书的第1版(1999年出版)为全国高等学校电子信息类专业“九五”规划部级重点规划教材,由电子仪器与检测技术专业教学指导委员会编审、推荐出版。整本书体系结构合理,内容全面,涵盖了电子测量的基本概念、测量误差理论与数据处理、常用电参量、电子元器件与网络的测量原理与技术、常用电子测量仪器(时域、频域、数据域)的原理与应用等,不仅注重实用性,而且紧跟电子测量与仪器技术的最新发展,具有一定的先进性。

2004年,作者结合教学科研实践和电子测量与仪器技术的新进展,对第1版作了全面修订。重点对DDS(直接数字合成)、DSO(数字存储示波器)及频谱分析仪等内容作了较大的修改与更新,并补充了发展迅速的仪器总线技术与虚拟仪器技术方面的内容。

第1版和2004年修订版出版后,一直深受广大读者欢迎,国内多所高校征订作为电子测量课程的教材,先后共印刷11次,累计发行总量达3.2万册。

此次结合作者的教学实践和科研工作以及电子测量与仪器技术的最新进展,对全书进行了全面的修改与更新。除了增加一些例题和习题之外,重点对任意波形发生器、数字示波器、逻辑分析仪、频谱分析仪以及虚拟仪器和仪器总线等内容,作了较大篇幅的修改与更新,特别还增加了数字荧光示波器、实时频谱分析技术、LabWindows/CVI及其在虚拟仪器设计中的应用。在本书最后一章,用较多篇幅对最新的仪器总线PXIe、LXI、AXIe总线技术等全新的内容作了重点介绍。

第2版修改与更新的内容主要有:

第2章 补充了有关不确定度的最新标准;

第5章 更新了DDS芯片介绍的内容,补充了Keysight公司(原安捷伦公司电子测量部)推出的最新波形发生技术——Trueform技术的介绍;

第6章 删除了模拟示波器的部分内容,修改更新了取样技术部分的内容,增加了示波器的最新发展状况和最新一代示波器——数字荧光示波器及其相关技术的介绍;

第7章 逻辑分析仪的实例介绍改换了泰克、安捷伦公司近年来推出的具有代表性的新产品;

第8章 增加了最新的实时频谱分析技术和实时频谱分析仪的介绍;

第10章 补充介绍了仪器总线的最新发展,修改更新了虚拟仪器的介绍,删减了 GPIB、VME、VXI 总线的部分内容,增加了最新的仪器总线 PXIe、LXI、AXIe 总线的介绍,还对 NI 公司的另一种虚拟仪器开发平台——基于标准 C 语言的 LabWindows/CVI 及其在虚拟仪器设计中的应用作了介绍。

全书共十章,主要内容包括:第1章对电子测量、电子仪器及测试系统作概述;第2章介绍测量误差理论与测量不确定度;第3章介绍电压、电流及电阻的测量原理,电压测量中共模干扰、串模干扰的抑制及误差分析;第4章介绍时间与频率的测量,频率稳定度的测量及调制域分析;第5章介绍信号的产生,包括合成信号源、函数发生器及任意波形的产生原理;第6章介绍信号波形的显示技术,包括示波器的发展与现状,模拟示波器的工作原理与技术指标,数字示波器(包括数字存储示波器和数字荧光示波器)的工作原理、性能指标与相关技术;第7章介绍逻辑分析仪的工作原理和产品实例;第8章介绍信号分析技术,包括频谱分析测量(传统频谱分析和实时频谱分析)、失真度测量、调制度测量及相位噪声测量;第9章介绍电子元器件参数测量及微波网络分析;第10章介绍仪器总线及虚拟仪器,包括虚拟仪器的概念与构成,虚拟仪器开发平台及其在虚拟仪器设计中的应用,仪器总线的发展与现状,常用仪器总线与最新仪器总线标准及相关技术。

本书可作为普通高等院校电子类及信息类各专业本科生和硕士研究生的教材。希望通过学习本书的内容,可以掌握电子测量技术与仪器方面的基础知识,并具备一定的应用能力,为从事相关研发工作奠定基础。

由于作者水平有限,书中错误与疏漏在所难免,恳请广大读者批评指正。

编著者

于东南大学

2015年6月

目 录

1	绪论	(1)
1.1	引言	(1)
1.2	电子测量的特点	(1)
1.3	电子仪器及测试系统的发展	(2)
1.4	电子测量仪器的分类	(8)
1.5	本课程的任务	(9)
2	误差理论与测量不确定度	(10)
2.1	测量误差.....	(10)
2.2	随机误差.....	(16)
2.3	系统误差.....	(31)
2.4	测量不确定度.....	(36)
2.5	非等精度测量.....	(47)
	附录 1 正态分布在对称区间的积分表(误差函数表)	(49)
	附录 2 t 分布在对称区间的积分表	(50)
	习题	(51)
3	电压测量	(53)
3.1	引言.....	(53)
3.2	电压测量的基本方法.....	(54)
3.3	数字电压测量中的模数转换器.....	(58)
3.4	单片式 DVM	(66)
3.5	数字多用表技术.....	(69)
3.6	数字电压测量的误差分析.....	(72)
3.7	电压测量中的干扰及其抑制技术.....	(75)
3.8	电压测量中的自校正技术.....	(80)
	习题	(85)
4	时间与频率测量	(88)
4.1	引言.....	(88)
4.2	电子计数器测量频率的方法.....	(91)
4.3	电子计数器测周方法.....	(94)

4.4	电子计数器功能的扩展	(98)
4.5	测量精度的提高	(101)
4.6	微波计数器	(105)
4.7	频率稳定度的测量和频率比对	(108)
4.8	调制域测量	(113)
	习题	(116)
5	信号源	(118)
5.1	引言	(118)
5.2	低频及高频信号源	(120)
5.3	合成信号源	(125)
5.4	合成信号源的基本原理	(126)
5.5	间接频率合成技术的进展	(138)
5.6	任意函数/波形发生器	(144)
	习题	(147)
6	信号的显示和测量	(149)
6.1	引言	(149)
6.2	模拟示波器的工作原理	(151)
6.3	取样技术	(161)
6.4	数字示波器	(170)
	习题	(185)
7	逻辑分析仪	(188)
7.1	逻辑分析仪的基本工作原理	(188)
7.2	泰克 TLA 7000 系列逻辑分析仪	(195)
7.3	Keysight 16850 系列逻辑分析仪	(204)
	习题	(206)
8	信号分析	(207)
8.1	引言	(207)
8.2	频谱分析仪	(207)
8.3	失真度测量	(228)
8.4	调制度测量	(230)
8.5	相位噪声测量	(231)
	习题	(237)
9	电子元器件参数测量及网络分析	(239)
9.1	电子元件参数测量	(239)
9.2	电子器件参数测量	(248)

9.3	微波网络分析	(257)
	习题.....	(273)
10	仪器总线及虚拟仪器	(274)
10.1	概述	(274)
10.2	GPIB 总线	(279)
10.3	VXI 总线	(284)
10.4	VXI 即插即用规范	(294)
10.5	可互换虚拟仪器(IVI).....	(303)
10.6	PXI 总线	(305)
10.7	LXI 总线	(318)
10.8	AXIe 总线	(323)
10.9	LabVIEW 语言简介	(329)
10.10	LabWindows 简介	(338)
	参考文献.....	(358)

1.1 引 言

测量的目的是准确地获取被测参数的值。通过测量能使人们对事物有定量的概念,从而发现事物的规律性。因而,测量是人类认识事物不可缺少的手段。离开测量,人类就不能真正准确地认识世界。物理定律是定量的定律,只有通过精密的测量才能确定它们的正确性。光谱学的精密测量帮助人们揭示了原子结构的秘密;对X射线衍射的研究揭示了晶体的结构;用射电望远镜才能发现类星体和脉冲星。这类例子举不胜举。另一方面,科学技术的发展也推动了测量技术的发展。即使像时间这样的基本量,在以前很长一段时间内一直用沙钟和滴漏进行极其粗略的测量,直到伽利略对摆的观察才启发人们用计数周期的谐振系统(如钟表)来测量时间。目前,使用铯原子谐振和氢原子谐振来测量时间,其准确度相当于在30万年内误差小于1s。可见,现代测量仪器是科学研究的成果之一,而测量仪器又促进了科学技术的发展,两者的关系是相辅相成的。

电子测量是指利用电子技术进行的测量。在电子测量中采用的仪器称为电子测量仪器,简称电子仪器。电子测量分为两类,一类是测电压、电容或场强之类的电量;另一类是运用电子技术来测量压力、温度或流量之类的非电物理量。本书主要讨论第一类电子测量仪器。近三十多年来,电子技术,特别是微电子技术和计算机技术的迅猛发展促进了电子仪器技术的飞跃发展。电子仪器与计算机技术相结合使功能单一的传统仪器变成先进的智能仪器和由计算机控制的模块式测试系统。微电子技术及相关技术的发展,不断为电子仪器提供各种新型器件,如ASIC(专用集成电路)、CPLD(复杂可编程逻辑器件)、FPGA(现场可编程门阵列)、信号处理器芯片、新型显示器件及新型传感器件等等,不仅使电子仪器变得“灵巧”、功能强、体积小、功耗低,而且使过去难以测试的一些参数变得容易测试。调制域仪器的出现就是一例。电子仪器及测量技术的发展又是其他技术发展的保证。微型计算机采用总线结构,信号多路传输,信息仅在某些指定时刻有效,因而采用传统的示波器、电压表之类仪器对计算机系统进行测试难以奏效,必须采用如逻辑分析仪、仿真器及微机开发系统之类的新颖数据域测试仪器,进行测试、调试和故障诊断。微电子技术的飞跃发展,使数字电路的集成度和工作速度不断提高。在一个芯片内可包含数百万个以上器件,但芯片的引脚数是有限的,为了通过有限的引脚对高度复杂的芯片进行全面测试,不仅要求研究新的测试理论和测试算法,开发大型先进的测试系统,而且要求采用新的电路设计。

1.2 电子测量的特点

与其他测量相比,电子测量及仪器具有下列主要特点:

1) 信号频率范围宽

被测电信号的频率范围低至直流,高至300 GHz(毫米波段上限)。在不同频段,许多电量的测量原理、方法及仪器是不同的。例如,测量频率、时间的频率计数器,在较低频段,常采用直

接计数法。但在微波频段,由于受电子器件工作速度的限制,必须把微波信号频率变成较低的中频频率后再进行计数,因而微波频率计数器与通用计数器的工作原理是有差别的。随着电子技术的发展,电子元器件性能的提高,电子仪器的工作频率范围也在不断提高。

2) 量程广

电子仪器所测电量的大小往往相差很大,因而仪器必须具有宽广的量程。例如,电压测量仪器要能测出从纳伏(nV)至千伏级的电压,量程达12个数量级;电阻测量仪器要能测出从 $10^{-5}\Omega$ 至 $10^9\Omega$ 以上的电阻;频率测量仪器要测出从 10^{-5}Hz 至 10^{11}Hz 以上的频率,等等。

3) 测量精确度高

电子仪器的测量精确度可达到较高的水平。例如,对频率和时间的测量,由于采用了原子频标作为基准,使测量精确度达到 $10^{-13} \sim 10^{-14}$ 量级,这是目前人类在测量精确度方面达到的最高水平。相比之下,长度测量的最高精确度达 10^{-8} 量级;力学测量的最高精确度达 10^{-9} 量级。由于在电子仪器中采用性能越来越高的微处理器、DSP(数字信号处理)芯片,对测量结果进行各种数据处理,使测量误差减小,测量精确度进一步得到提高。

4) 测量速度快

由于电子测量是采用电子技术来实现的,因而测量速度快,这对某些要求快速测量和实时测控的系统来说是很重要的。例如,在工业自动控制系统中,对各种机械运转的状态及设备的参数要及时进行测试,并对测量结果进行运算,最后向机械或设备发出控制信号。又如,在洲际导弹的发射过程中要快速测出它的运动参数,通过计算机运算,向它发出控制信号,修改其运动轨迹,使之达到预定的目标。

5) 易于实现测量过程自动化

由于现代仪器都带有标准程控接口,在各仪器之间、仪器与计算机之间能方便地用各种标准总线连接起来组成自动测试系统,在计算机的控制下,自动执行测量、数据处理及记录等操作,省却了繁琐的人工操作。

6) 易于实现仪器小型化

随着微电子器件集成度的不断提高,可编程器件及ASIC电路的采用,电子仪器正向着小型化、低功耗发展。特别是随着模块式仪器系统的采用,把多个仪器模块连同计算机装入一个机箱内组成自动测试系统,使之更为紧凑。这对某些场合,如军事、航空等领域的使用是有重要意义的。

1.3 电子仪器及测试系统的发展

20世纪70年代以来,计算机技术和微电子技术的惊人发展给电子仪器及自动测试领域产生了巨大的影响。三十多年来,在仪器和测试领域发生了几件重要的事情,它们是智能仪器、GPIB(General Purpose Interface Bus)接口总线、PC插卡式仪器、VXI总线仪器、PXI总线仪器及虚拟仪器的出现。这些技术的采用,改变了并且将继续改变仪器和测试领域的发展进程,使之朝着智能化、自动化、小型化、模块化和开放式系统的方向发展。

1.3.1 智能仪器

目前,人们习惯把内含微型计算机的仪器称为智能仪器,以区别于传统的电子仪器。当然,这些仪器所具有的智能水平是各不相同的,有的高些,有的低些,总的来说,随着科学技术的发展,智能仪器所具有的智能水平将会不断提高。

1) 智能仪器的特点

微处理器的出现,带来了仪器技术的一场革命。由于微处理器具有体积小、价格低、可靠性高、功能强及使用灵活方便等优点,通过它能容易地把计算机技术应用于各种电子仪器,不仅使仪器具有某种智能,而且正在出现各种新的产品。

微处理器的应用之所以给电子仪器以惊人的冲击,其主要原因在于它增强了仪器的功能。电子仪器及测量技术一旦与计算机技术相结合,就大大增强了灵活性,许多原来用硬件逻辑难以解决或根本无法解决的问题用软件就能迎刃而解。例如,传统的数字多用表(DMM)能测量交流/直流电压、电流及电阻,但带微处理器的数字多用表除此之外还能测量诸如百分数偏离、偏移、比例、最小/最大、极限、统计(平均值、方差、均方差、均方根值)等多种参数,甚至在外加传感器后还能测量温度、压力等非电参数。传统的频率计数器能测量频率、周期、时间等参数,但带微处理器的通用计数器却还能测量电压、相位、上升时间、占空比、压摆率、漂移及比率等等多种参数。

计算机技术引入电子仪器后不但增强了仪器的功能,同时也提高了仪器的性能指标。通过微处理机的数据处理和存储等能力,可容易地实现各种自动校正、多次测量平均和误差消除等技术,从而提高了测量精度。

智能仪器的一个特点是操作自动化,因而被称为自动测试仪器。传统仪器面板上的开关与旋钮均被键盘代替,仪器操作人员要做的工作仅是按键,从而省却了繁琐的人工调节。智能仪器通常都能自选量程、自动校准,有的还能自动调整测试点,这既方便了操作,又提高了测试精度。例如,智能示波器一般能自动寻找波形,自动设置合适的幅度增益及扫描速度范围,使被测波形能自动在屏幕上以最佳方式稳定显示,大大简化了人工操作。

智能仪器的另一个特点是具有对外接口功能,通常都具有 GPIB 或其他标准接口,能够容易地接入自动测试系统中接受远地控制,进行自动测试。

仪器中采用微处理器后能实现“硬件软化”,许多传统的硬件逻辑都可用软件取代。例如,传统数字电压表的数字电路部分通常采用了大量的计数器、寄存器、译码显示电路及复杂的逻辑控制电路。在智能仪器中,只要速度跟得上,这些电路都可用软件取代。这样非但降低了成本,而且减小了体积,降低了功耗并提高了可靠性。

现代智能仪器通常都具有功能很强的自测试与自诊断技术,它能够自己诊断自己的功能是否正常。若发生故障,自己能确定故障发生的部位,从而大大提高了仪器的可靠性,简化并加快了仪器的维修工作。

2) 智能仪器的组成

在物理结构上,微型计算机内含于电子仪器,微处理器及其支持部件是整个测试电路的一个组成部分。但是从计算机的观点看,测试电路与键盘、GPIB 接口及显示器等部件一样,仅是计算机的一种外围设备。智能仪器的基本组成如图 1-1 所示。显然,这是典型的计算机结构,与一般计算机的差别仅在于它多了一个“专用的外围设备”——测试电路;同时,还在于它与外界的通信通常都通过 GPIB 接口进行。既然智能仪器具有计算机结构,因此它的工作方式和计算机一样,而与传统的测试仪器差别较大。微处理器是整个智能仪器的核心,固化在只读存储器内的程序是仪器的“灵魂”。系统采用总线结构,所有外围设备(包括测试电路)和存储器都“挂”在总线上,微处理器按地址对它们进行访问。微处理器接受来自键盘或 GPIB 接口的命令,解释并执行这些命令,诸如发出一个控制信号到某个电路,或者进行某种数据处理等等。既然测试电路是微型计算机的外围设备之一,因而在硬件上它们之间必然有某种形式的接口,从简单的三态门、译码器、A/D 和 D/A 转换器到程控接口等等。微处理器通过接口发出各种控制

信息给测试电路,以规定功能、启动测量、改变工作方式等等。微处理器通过查询或测试电路向微处理器提出中断请求,使微处理器及时了解测试电路的工作状况。当测试电路完成一次测量后,微处理器读取测量数据,进行必要的加工、计算、变换等处理,最后以各种方式输出,如送到显示器显示,打印机打印,或送给系统的主控制器等等。

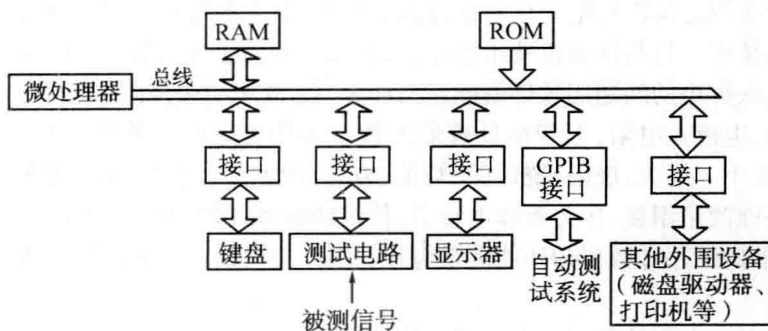


图 1-1 智能仪器的基本组成

虽然智能仪器中的测试电路仅是作为微型计算机的外围设备而存在,仪器中引入微处理器后有可能降低对测试硬件的要求,但仍不能忽视测试硬件的重要性,有时提高仪器性能指标的关键仍然在于测试硬件的改进。

1.3.2 GPIB 接口及自动测试系统

随着科学技术和生产的不断发展,测试任务日趋复杂,对测试系统在功能、速度及精度等方面的要求也越来越高,人工测试已很难满足这些要求,为此必须发展自动测试。

早期的自动测试系统都是根据具体的测试任务而设计的专用系统,其最大缺点是组建困难且不通用。组建者必须花很多时间设计和制造系统中各仪器设备及控制计算机的专用接口电路及测试软件。不同系统中的仪器接口互不通用,即使在同一个测试系统中,当测试内容改变时,也可能要重新设计接口电路和软件,这严重地影响了自动测试技术的发展。

为此,美国 HP 公司于 20 世纪 70 年代初,首先提出了接口标准化方案,并于 1974 年正式命名为 HP - IB 接口总线。后来得到了美国电气与电子工程师学会 (IEEE) 和国际电工委员会 (IEC) 的承认,分别命名为 IEEE - 488 和 IEC - 625 标准,通称 GPIB 标准。使用 GPIB 标准接口,可将不同厂家生产的各种型号的仪器用一条统一的无源标准总线方便地连接起来组成各种自动测试系统,而无需在接口硬件方面再做任何工作,大大方便了系统的组建,因而得到了广泛的应用,使自动测试技术翻开了新的一页。

图 1-2 表示典型的电压和频率参数的自动测试系统。计算机是系统的控制器,它根据预先

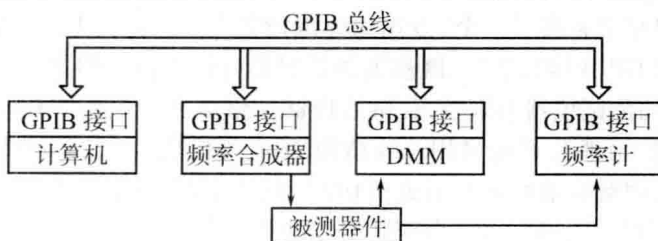


图 1-2 GPIB 测试系统举例

编制好的测试程序,首先设定频率合成器的各种功能,并启动工作,让它输出要求幅度和频率的信号,加到被测器件,然后命令数字多用表 DMM 和频率计数器对被测器件输出信号的幅度和频率进行测量。测量数据可送到计算机系统的显示器显示,或送到打印机进行打印。

1.3.3 VXI 总线仪器

GPIB 系统有效地解决了台式仪器的互联问题,但却存在系统体积庞大及传输速率低(理论上可达 1 M Bytes/s)两大问题。这在某些情况,如军用、航空及要求可移动的场合很不适用。为此,美国五家有影响的仪器公司在 1987 年 7 月成立了 VXI 联合会,一致同意在 VME 微机总线的基础上开发模块式仪器标准总线。1987 年 10 月,1988 年 6 月和 1989 年 7 月分别发表了 VXI 总线规范 1.1,1.2 和 1.3 文本。VME 总线是 1981 年美国 Motorola 公司德国分部为 16 位微处理器 68000 系列而开发的微机总线,后来成为 IEEE P1014 标准。

VXI 总线的技术规范中规定了四种尺寸的插件板,较小的 A 和 B 尺寸是 VME 总线标准规定的插板尺寸,用于中等性能、可携带及低成本的系统。C 尺寸用于高性能及中等成本的系统,最大的 D 尺寸用于最高性能和最高成本的系统。

图 1-3 表示了 HP 公司于 1988 年推出的 C 尺寸主机架及 C 尺寸插板,在每个插板上有连接器插头,插入主机架的背板上。背板上有 13 列槽口,因而最多可插入 13 个插件板。A 尺寸插板上只有一个连接器 P_1 ,B 和 C 尺寸的插板上有两个连接器 P_1 和 P_2 ,D 尺寸插板上有连接器 P_1 、 P_2 和 P_3 。每个连接器有 3 列,每列有 32 个引脚,因而每个连接器有 96 个引脚;3 个连接器共有 288 个引脚。

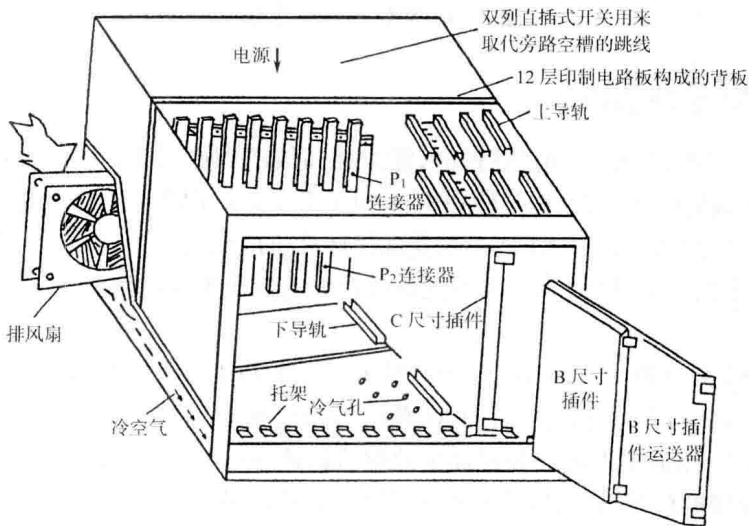


图 1-3 VXI 主机架实例

由图 1-3 可见,在主机架的后部有一块背板,这是一块 12 层印制板,上面制有 VXI 总线。背板上还有 13 列连接器插座,供插入仪器模块。主机架的上、下部都有导轨,前端还有装配托架,使插板容易插入插座并固定住。C 尺寸的机架也可插入 B 尺寸的插板,但要利用运送器。

主机的后部(位于背板和后面板之间)分上、下两层放置电源和冷却设备。上部提供了 VXI 标准规定的七种电源,下部是冷却用风扇。

背板上的 13 列插座按自左向右的顺序进行编号,最左列插座称为 0 号槽口,最右列插座为

12号槽口。0槽插件装有系统的公用资源,提供公用时钟及插件识别等信号,对系统资源进行管理,还具有 VXI 总线与其他总线(GPIB、RS-232C等)间的转接功能,其他12个槽口插入用户选定的仪器模块。图1-4是HP公司的C尺寸主机架的VXI仪器系统实例。计算机是主控制器,通过 GPIB 总线与主机架相连。为了简化控制和便于编程,由鼠标器驱动交互测试发生器提供软面板,进行人机对话。0槽插件还通过 RS-232C 接口与终端机相连。

图1-4中数字化仪占用了两个标准的插板宽度,所以主机架中共有12个插件,其中有的一个插件构成一个仪器,有的由两个插件构成一个仪器。当一个主机架不够用时,与主计算机相连的 GPIB 总线还可接至其他 VXI 主机架。

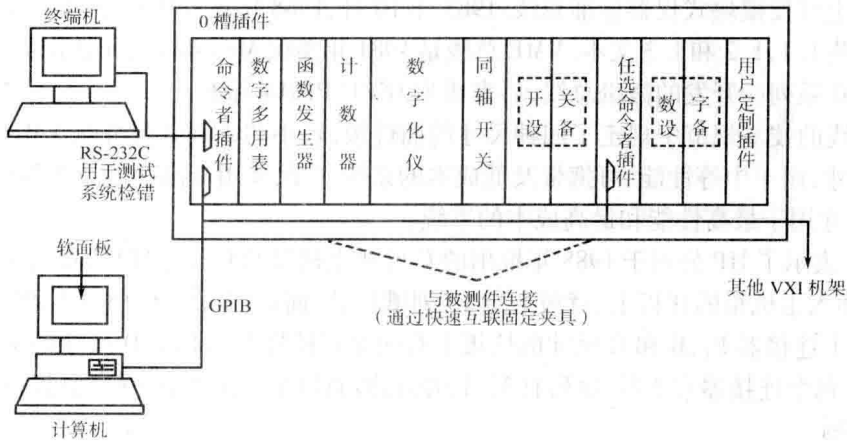


图1-4 VXI 仪器系统实例

1.3.4 PXI 总线仪器

VXI 系统具有很好的电气和机械性能,能组建高级的测试系统;由于采用模块化结构,有效地减小了测试系统的体积;数据传输速率达 40 M Bytes/s。VXI 系统的缺点是一次性投资大,价格高。究其原因主要是由于 VXI 基于未受现代计算机广泛支持的 VME 总线结构,因而不能利用现有 PC 技术的巨大优势,不能将主流微机的低成本、高性能及广泛可用性等好处带给用户。

为此,在 1997 年 9 月 1 日,美国 NI 公司推出了基于 PCI 总线的 PXI 仪器总线。1998 年 PXI 系统联盟正式成立。与 VXI 总线一样,PXI 总线系统也是一种开放式、模块化的系统。但由于 PXI 基于 PCI 总线,因而不但进一步提高了数据传输速率(达 132 M Bytes/s),而且由于 PCI 是当前主流微型计算机总线,有数以千计的低成本、高性能的 PCI 设备和软件可供 PXI 系统使用,因而 PXI 系统的价格比 VXI 系统要显著低。

PXI 规范要求 PXI 设备必须能在 Windows 操作系统下工作,并要求厂商必须随模块提供驱动软件,这样保证了不同厂商产品的兼容性,节省了用户的开发时间。

PXI 规范定义了 3U 和 6U 两种尺寸的模块,它们分别与 VXI 系统中的 A 尺寸和 B 尺寸模块的尺寸相同。

PXI 系统的主机是一个拥有 2 ~ 31 个槽位的机箱。机箱的左边第一个槽是控制器槽,其他槽位称为外部设备槽,用于插入各种功能的仪器模块。常用的 PXI 系统的控制器有两种,即嵌入式控制器和 MXI-3 总线桥。嵌入式控制器是专为 PXI 机箱空间设计的插入槽 1 的通用计算机。PXI

机箱外部的台式计算机可通过插入 PXI 机箱槽 1 的 MXI - 3 桥对 PXI 系统实现控制。

图 1 - 5 表示 18 槽的 PXI 机箱。

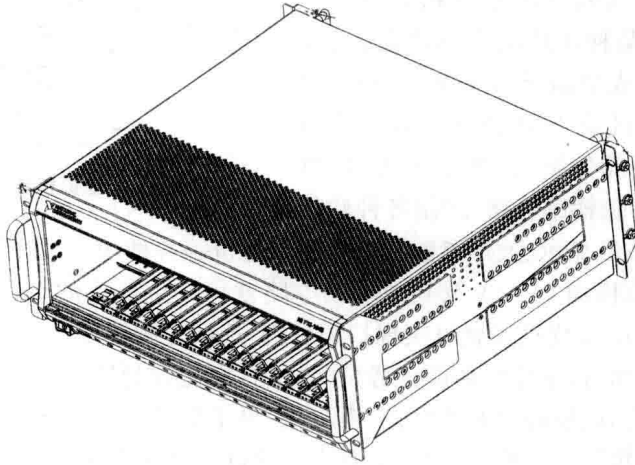


图 1 - 5 18 槽 PXI 机箱

1.3.5 PC 插卡式仪器

PC 插卡式仪器是指基于计算机标准总线(如 ISA、PCI)的内置功能卡。由于能更方便地利用计算机资源,因而这些仪器卡价格低廉,使用灵活方便;但受到一定的限制,主要是机内槽口数、空间及电源容量有限,散热不易且箱内干扰大,因而不宜用作微弱信号、高精度、大功率及微波等场合的测量。为此,可在计算机外扩展一个插卡箱,仪器卡插入插卡箱内,计算机与插卡箱间由 PC 总线连接。

仪器厂商生产了大量的 PC 插卡式仪器,如信号发生器、示波器、数字多用表及数据分析仪等,其中最重要的是数据采集卡(Data Acquisition,简称 DAQ)。图 1 - 6 表示了典型的数据采集系统的组成。各种物理量经传感器变成电信号。DAQ 对电信号进行调理(放大、衰减、滤波等)、取样并量化成数字量送到计算机。取样数据可直接在计算机屏幕上显示成图形,或求其幅值、频率及边沿时间,或进行功率谱估计、FFT、相关、卷积、数字滤波及统计等分析和处理。这些功能都是由软件实现的,软件决定了仪器的功能。这是虚拟仪器的核心思想,即只要具备必要的硬件资源,由软件定义仪器,“软件即仪器”。在硬件配置不改变的情况下,由软件实现新的仪器,这样节省了组建系统的成本,且大大增加了灵活性。

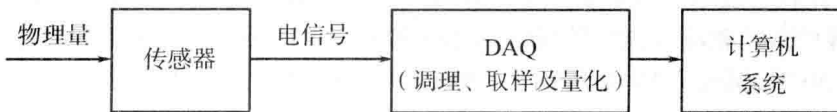


图 1 - 6 数据采集系统的组成

1.3.6 虚拟仪器及 LabVIEW

虚拟仪器是一种功能意义上的虚拟化的仪器,通常是指以计算机为核心的,由强大的测试应用软件支持的,具有虚拟仪器面板、足够的仪器硬件及通信功能的测量信息处理系统,其结构如图 1 - 7 所示。由图可见,虚拟仪器利用计算机强大的软件环境,兼容了不同接口及不同功能的仪

器,建立图形化的虚拟仪器面板,完成测试所需的各种采集、控制、数据分析与显示的全部功能。

虚拟仪器实质上是软件和硬件相结合的产物。用虚拟仪器代替某种传统的实物仪器,无需实物仪器参与即可完成全部仪器功能。这种虚拟仪器通常由微型计算机及 A/D、D/A 变换器等通用硬件和应用软件等部分组成。如上所述,计算机加上 A/D 及其他少量辅助电路,编制各种软件就可实现数据采集、波形显示、波形参数测量及频谱分析等各种功能,如果再配上传感器,就可测量各种非电量。计算机加上 D/A 及其他辅助电路就可产生任意波形,包括扫频、调频等信号。计算机加上 A/D、D/A 变换器就可实现扫频分析、反馈控制等功能。

相对于传统仪器而言,虚拟仪器的优势是明显的。它充分利用计算机的软件资源,通过软件完成测试任务。它的软、硬件具有开放性、模块化、可重复使用及互换性等特点,使用户可以根据自己的需要定位仪器的功能。用户甚至只需对软件灵活组合、集合,就可组建功能不同的多种虚拟仪器。

LabVIEW 是由美国 NI 公司推出的虚拟仪器图形化软件开发平台。它与传统的文本编程语言不同,把繁琐的语言编程简化成用线条连接各种图标,相当于绘制流程图的过程。流程图绘好了,程序也编好了,因而易于学习,方便使用,节省了编程时间,提高了编程效率。LabVIEW 提供了 GPIB、VXI、标准串口、DAQ 及 VISA(虚拟仪器软件结构)的驱动程序库,还提供了功能强大的信号处理、统计、曲线拟合及复杂的分析程序。由于 LabVIEW 使用简单、直观明了、功能强大,因而在测控、自动化、电信等很多领域得到了广泛应用。

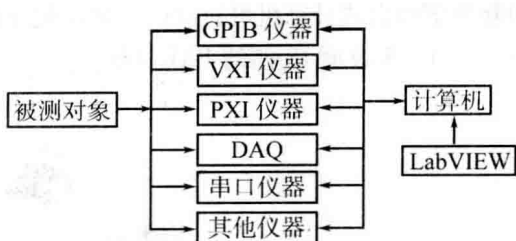


图 1-7 虚拟仪器系统的典型组成

1.4 电子测量仪器的分类

电子测量仪器有多种分类方法,总的可分为通用和专用两大类。通用电子仪器有较广泛的应用范围,如示波器、多用表及通用计数器等。专用电子仪器有特定的用途,例如,光纤测试仪器用于测试光纤的特性,通信测试仪器用于测试通信线路及通信设备。另外,电子仪器还可按工作频段分为超低频、音频、视频、高频及微波等;按电路原理可分为模拟式和数字式;按仪器结构可分为便携式、台式、架式、模块式及插件式等;按使用条件又可分为 I、II 和 III 组仪器。I 组仪器为高精度仪器,要求工作环境温度为 $10 \sim 30^{\circ}\text{C}$,湿度为 30°C 、(20% ~ 75%)RH,只允许有轻微的振动;II 组仪器要求环境温度为 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$,湿度为 40°C 、(20% ~ 90%)RH,仪器在使用中允许有一般的振动和冲击,通用仪器应符合该组要求;III 组仪器可工作在室外环境,要求温度为 $-10 \sim 50^{\circ}\text{C}$,湿度为 50°C 、(5% ~ 90%)RH,在运输过程中允许受到振动与冲击。

按照被测参量的特性,电子仪器可分为下列几类:

1) 测量电信号的仪器

该类仪器用于测量电信号的种种特性。它们又可分为时域仪器、频域仪器及调制域测试仪器三大类。

(1) 时域测试仪器 这类仪器用于测试电信号在时域的种种特性,例如观察和测试信号的时基波形(示波器);测量电信号的电压、电流及功率(电压表、电流表及功率计);测量电信号的频率、周期、相位及时间间隔(通用计数器、频率计、相位计及时间计数器等);测量脉冲占

空比、上升沿、下降沿、上冲；测量失真度及调制度等。

(2) 频域测试仪器 该类仪器用于测量信号的频谱、功率谱、相位噪声功率谱等，典型仪器有频谱分析仪、信号分析仪等。

(3) 调制域测试仪器 调制域描述了信号的频率、周期、时间间隔及相位随时间的变化关系，如图 1-8 所示。美国 HP 公司于 1987 年首先推出了调制域分析仪。使用调制域分析仪可测量诸如压控振荡器 (VCO) 的暂态过程和频率漂移；调频和调相的线性及失真；数据和时钟信号的相位抖动；脉宽调制信号；扫描范围、周期及线性；旋转机械的启动及运转状况；锁相环路的捕捉及跟踪范围；捷变频信号等。当然也可无间隔地测量稳态信号的频率、周期及相位等。

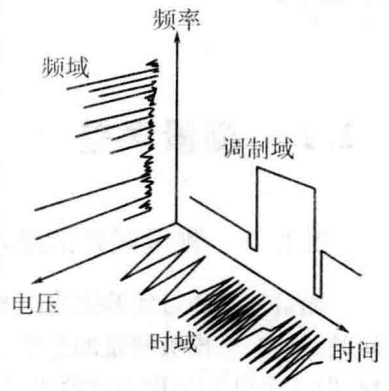


图 1-8 时域、频域和调制域

2) 测量电子元器件及电路网络参数的仪器

这类仪器包括：

(1) 测量电阻、电容、电感、阻抗、导纳及 Q 值等电子元件参数的仪器。

(2) 测量半导体分立器件、模拟集成电路及数字集成电路等电子器件特性的仪器。

(3) 测量各类无源和有源电路网络特性的仪器，包括测量电路的传输系数、频率特性、冲激响应、灵敏度、驻波比及耦合度等特性的仪器。

3) 数据域测试仪器

这类仪器所测试的不是电信号的特性，而是各种数据，主要是二进制数据流。它们所关心的不是信号波形、幅度及相位等信息，而是关心信号在特定时刻的状态“0”和“1”，这些特定时刻包括时钟、读/写、输入/输出、选通及芯片选择等信号的有效沿。因此，用数据域测试仪器测试数字系统的数据时，除了输入被测数据流外，还应输入选通信号，以正确选通输入数据流。数据域测试的另一个特点是输入通道数多，例如，当测试微型计算机的地址或数据总线时可达 32 或 64 路以上。该类仪器还有丰富的显示、触发及跟踪等功能。

1.5 本课程的任务

电子测量的内容很广泛，本课程主要讨论以下几方面的内容：

(1) 主要电参数的测量 包括电压、电流、电阻、频率、时间等的测量；电子元件（阻抗）及集成电路参数的测量；微波网络的分析。还将讨论各种电子测量都要使用的信号源。

(2) 电信号显示和分析 包括在时域的波形显示和在频域的分析技术。前者讨论示波器的原理及使用，后者讨论频谱分析技术，还涉及失真度、调制度及相位噪声等测试技术。

(3) 数字技术受到越来越多的重视，因此本书将讨论数字系统的基本测试仪器——逻辑分析仪。

(4) 介绍仪器总线及虚拟仪器。仪器总线包括 GPIB, VXI, PXI 总线。最后简单介绍 LabVIEW。

(5) 作为电子测量技术的基础——误差理论初步。

本书重点介绍基本测量原理和方法、基本测试技术及误差分析，对一些常用电子仪器的基本组成也将进行讨论。