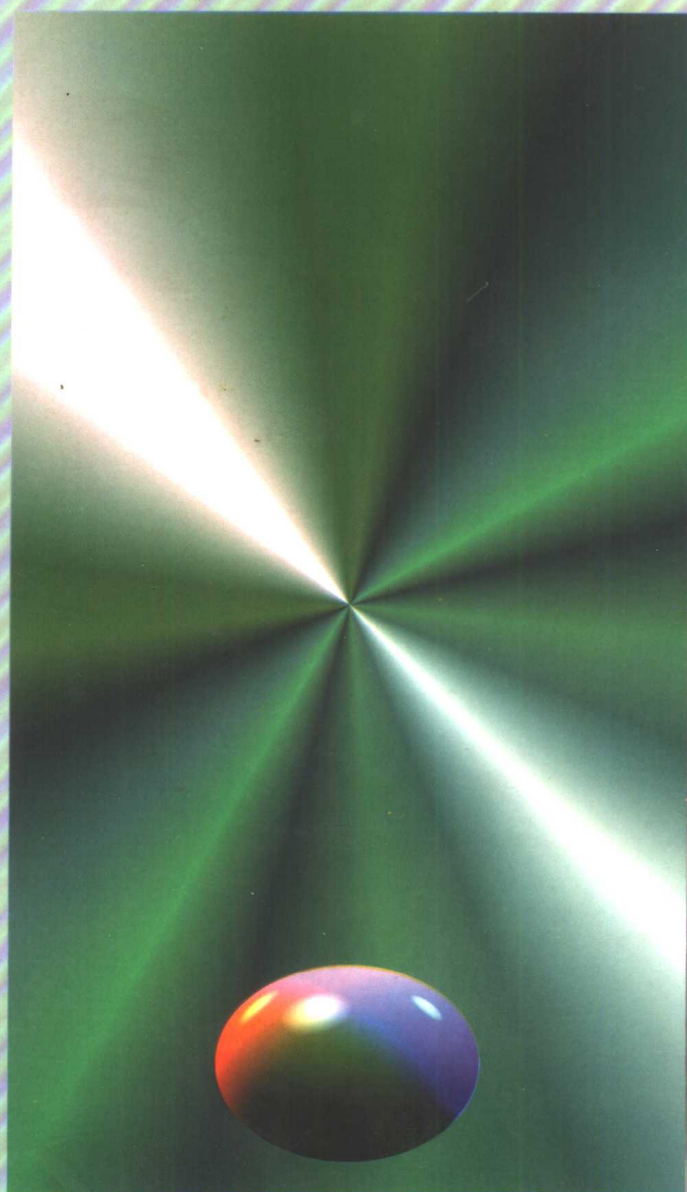


# 现代 检测技术与测试系统设计

刘君华



西安交通大学出版社

# 现代检测技术与测试系统设计

刘君华

西安交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书全面、系统地论述了以 PC 计算机为核心的数据采集系统硬件平台,设计建造各种测试功能仪器的测量原理与基础理论,并详细介绍了应用传感器、调理电路、数据采集卡(板)、PC 计算机组建现代测试系统以及测试系统性能评价的基本方法。全书共分 8 章。其中,第 1 章至第 3 章为基础知识介绍,主要介绍测量信号的分析与处理、测量误差与分析、测量系统的基本特性,它们都是实现测量功能以及组建、评价测量系统的基础知识。第 4 章至第 7 章依次介绍信号的检测与调理、数据采集及测量系统的智能化、虚拟/集成仪器系统、现场总线智能仪器。

本书内容丰富新颖、理论联系实际,并提供了所有的基础知识以便自学。本书可作为高等院校电类、非电类专业测试技术课程的教材,也可供从事测试技术的工作者学习和参考。

(陕)新登字 007 号

### 现代检测技术与测试系统设计

作 者 刘君华

责任编辑 任振国

责任校对 周 冀

\*

西安交通大学出版社出版发行

(地址:西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)2668316)

西安德力彩印厂印装

各地新华书店经销

\*

开本:787mm×1 092mm 1/16 印张:22.5 字数:547 千字

1999 年 4 月第 1 版 2000 年 12 月第 2 次印刷

印数:2 001~3 500

ISBN7 - 5605 - 1093 - 0/TM·45 定价:25.00 元

---

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话:(029)2668357,2667874

# 前 言

本书以“传感器、调理电路及 PC 计算机为核心的数据采集系统”构成的现代测试系统的基本形式为主要内容。这个测试系统既具有广泛的基础性又具有先进性,它不仅是目前各个领域、部门进行科学实验与工程测量普遍采用的基本测试手段,也是构造下一代先进测试仪器、系统——虚拟/集成仪器及现场总线智能仪器的基础。

电测技术是应用极为普遍的基本测试技术。为了实现基本电参数如电压、电流、功率、相位、频率、电阻、电感、电容、互感等的测量,在不同历史时期采用了基于不同技术的仪器。经历了第一、二、三、四代的电测仪器,今天正面临新一代电测仪器——虚拟/集成仪器的历史大变革。虚拟/集成仪器的核心是两个平台,一是以 PC 计算机为核心的数据采集处理系统为主的硬件平台,另一个是软件平台。本书避开了非本质的总线技术与图示化技术,将电测技术与虚拟/集成仪器的测量功能相结合,有利于突出虚拟/集成仪器的本质特征,这就是:在硬件平台确立以后,决定仪器功能的是软件,按照测量原理编制软件程序就构成相应测试功能的仪器。这个仪器是由用户自行设计构造而不是由厂家设计制造好了的。因此,在学习掌握了测量原理之后,每一个学习者都可以在这个硬件平台上设计构造不同测量功能的仪器。

传统观念的传感器是获取信号的手段,只具有信号检测的功能。它的工作原理、工艺、结构、材料……涉及多种学科,内容十分广泛。本书重点突出其工作原理与基本特性(静态与动态特性),并按其输出变量分类。这样,种类繁多、不胜枚举的传感器则可分为输出电参数  $L$ ,  $C$ ,  $R$ ,  $M$  的参数型,输出电压、电流、电荷的电量型及输出电脉冲频率或数码的数字型,等典型的几类。它们的典型输出变量正是电测技术的测量对象。因此,有利于工程技术人员掌握传感器的使用方法,并与数据采集系统(简称数采系统)、计算机结合组建测试系统。

当传感器与计算机深层次结合后,传感器与仪器的界限正在消失,现场总线智能变送器就正好说明这一点,它已不再是传统观念的只具有信号检测功能的传感器、变送器,它还具有控制功能、信号分析与处理功能、数字通讯功能。这种智能化仪器是本书内容综合的反映。

本书前三章内容是测量的基础知识。第 1 章信号分析处理初步,它不仅是测量仪器、系统进行数据分析处理的一般理论基础知识,而且在本书中又作为在虚拟仪器硬件平台上设计构造谱分析仪、传递函数测试仪、相关(解调)仪、数字滤波器等分析仪器的基础,而这些仪器是传统观念的“高级贵族式”仪器。在第 2 章测量误差及其分析、第 3 章测量系统的基本特性中,介绍了不论测量对象是什么、采用何种传感器,均按静态特性、动态特性的要求组建测量系统的一般方法,并介绍了对测量系统的评价方法、测量数据处理的基本方法。本书后四章为测量、测量仪器、系统。第 4 章信号的检测与调理,第 5 章数据采集系统与测量系统的智能化,第 6 章虚拟仪器、系统,第 7 章现场总线智能仪器仪表。

本书力求内容的基础性与先进性相结合,基础理论与测量功能相结合,测量原理的学习与实践可实现性相结合。在文字叙述方面力求简洁,并在各部分均有实例简介,所需的基础知

识本书自行提供,便于自学。

本书绪论及第1,3,4章由刘君华编写,第2章由郭福田编写,第5章由申忠如编写,第6章由刘君华、刘薇编写,第7章由常炳国编写,全书由刘君华统编。

本书由王子延教授主审。王子延教授对书稿作了认真的审查和推敲,提出了许多意见和建议,作者在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错误与不足,敬请读者批评指正,不吝赐教。

编 者

1998.7.1

# 目 录

## 绪 论

0.1	测试技术的作用及其发展 .....	(1)
0.2	现代测试系统的基本结构与类型 .....	(2)
0.2.1	基本型 .....	(2)
0.2.2	标准通用接口型 .....	(3)
0.2.3	闭环控制系统中的测试系统——闭环控制型 .....	(4)
0.3	现代电测技术的发展趋势 .....	(5)
0.3.1	集成仪器概念 .....	(5)
0.3.2	测试软件 .....	(5)

## 基础知识篇

### 第 1 章 信号分析与处理初步

1.1	信号的分类 .....	(7)
1.1.1	确定性信号与非确定性(随机)信号 .....	(8)
1.1.2	连续时间与离散时间信号 .....	(10)
1.2	信号的幅值域与时域分析 .....	(11)
1.2.1	信号的幅值域分析 .....	(11)
1.2.2	信号的时域分析 .....	(15)
1.3	信号的频域分析 .....	(17)
1.3.1	周期信号与离散频谱 .....	(17)
1.3.2	非周期信号与连续频谱 .....	(21)
1.3.3	傅里叶变换的性质 .....	(25)
1.3.4	离散时间信号的频谱 .....	(31)
1.3.5	离散傅里叶变换(DFT) .....	(33)
1.3.6	信号的频谱分析 .....	(36)
1.4	信号的相关分析 .....	(38)
1.4.1	相关函数的定义式 .....	(39)
1.4.2	自相关函数的性质与特点 .....	(39)
1.4.3	互相关函数的性质与特点 .....	(44)
1.4.4	相关技术在提高信噪比方面的应用 .....	(44)
1.5	数字滤波器 .....	(46)
1.5.1	数字滤波器的数学基础——Z 变换简介 .....	(47)

1.5.2	连续时间( $t$ )滤波器 $H(s)$ 的离散时间( $nt$ )等效滤波器 $G_D(z)$ .....	(54)
-------	---	------

## 第2章 测量误差及其分析

2.1	测量误差基本概念.....	(61)
2.1.1	测量误差的几个名词术语.....	(61)
2.1.2	测量误差的表示.....	(61)
2.1.3	测量误差的分类.....	(64)
2.1.4	有效数字.....	(65)
2.2	系统误差的消除.....	(66)
2.2.1	从产生系统误差的来源上消除.....	(66)
2.2.2	利用修正的方法来消除.....	(67)
2.2.3	利用特殊的测量方法消除.....	(67)
2.3	随机误差的处理.....	(72)
2.3.1	随机误差的统计特性和概率分布.....	(72)
2.3.2	随机变量的特征参数.....	(74)
2.4	粗大误差的剔除.....	(83)
2.4.1	拉依达准则.....	(83)
2.4.2	格罗布斯(Grubbs)准则.....	(84)
2.5	测量结果误差的估计.....	(85)
2.5.1	直接测量结果的误差估计.....	(85)
2.5.2	间接测量结果的误差估计.....	(85)
2.5.3	已定系统误差的合成.....	(89)
2.5.4	不确定度的评定.....	(90)
2.5.5	测量结果的表示.....	(96)
2.6	数据处理举例.....	(96)
2.7	微小误差准则与比对标准的选取.....	(101)
2.7.1	微小误差准则.....	(101)
2.7.2	比对标准的选取.....	(103)
2.8	误差分配与最佳测量方案的确定.....	(104)
2.8.1	误差分配.....	(104)
2.8.2	最佳测量方案(测量条件)的确定.....	(107)
2.9	最小二乘法原理及其应用.....	(109)
2.9.1	最小二乘法原理.....	(109)
2.9.2	最小二乘法在测量中的应用.....	(111)

## 第3章 测量系统的基本特性

3.1	概述.....	(116)
3.2	测量系统的静态特性.....	(116)
3.2.1	静态特性的获得.....	(117)
3.2.2	静态特性的基本参数.....	(117)
3.2.3	静态特性的质量指标.....	(118)

3.3	测量系统的动态特性 .....	(122)
3.3.1	测量系统的数学模型.....	(122)
3.3.2	常见测量系统的数学模型.....	(124)
3.3.3	测量系统的动态特性参数.....	(126)
3.3.4	系统特性参数、动态误差与信号频率的关系 .....	(131)
3.4	测量系统的组建与性能评定举例 .....	(134)
3.4.1	测量系统性能评定举例.....	(134)
3.4.2	组建测量系统的基本原则.....	(140)

## 测量、测量仪器、系统篇

### 第4章 信号的检测与调理

4.1	概述 .....	(146)
4.1.1	传感器的分类.....	(146)
4.1.2	传感(器)技术的现状与发展.....	(147)
4.2	电参数型传感器 .....	(148)
4.2.1	电阻式传感器.....	(148)
4.2.2	电容式传感器.....	(155)
4.2.3	电感式传感器.....	(159)
4.2.4	电涡流式传感器.....	(163)
4.2.5	差动结构、差动电路对测量系统性能的改善 .....	(167)
4.2.6	参数型传感器常用信号调理电路.....	(171)
4.3	电量型传感器 .....	(189)
4.3.1	磁电式传感器与振动测量.....	(189)
4.3.2	压电式传感器.....	(201)
4.3.3	热电式传感器.....	(206)
4.3.4	光电式传感器.....	(212)
4.3.5	其他能量控制型电量传感器.....	(223)
4.4	数字式传感器 .....	(224)
4.4.1	编码式数字传感器.....	(225)
4.4.2	增量编码器.....	(228)
4.4.3	栅式数字传感器.....	(229)
4.4.4	频率输出型数字传感器.....	(234)

### 第5章 数据采集与测量系统的智能化

5.1	数据采集系统 .....	(238)
5.1.1	概述.....	(238)
5.1.2	数据采集系统的基本组成单元.....	(240)
5.1.3	数据采集系统结构形式.....	(254)
5.1.4	HY-1232 AD/DA 板简介.....	(255)
5.2	测量系统的智能化 .....	(259)



5.2.1	非线性自校正	(260)
5.2.2	自校零与自校准	(264)
5.2.3	自补偿	(267)
5.2.4	量程自动切换	(275)
5.3	干扰与抑制	(277)
5.3.1	干扰的来源和传播方式	(277)
5.3.2	干扰的抑制	(279)
<b>第6章</b>	<b>虚拟仪器、系统</b>	
6.1	概述	(285)
6.1.1	虚拟仪器的内部功能	(285)
6.1.2	虚拟仪器的构成	(285)
6.1.3	软件在虚拟仪器中的作用	(286)
6.1.4	虚拟仪器的优点与特点	(287)
6.2	测量与虚拟仪器测量功能的设计基础	(287)
6.2.1	交流电气量的测量与虚拟多用表原理	(287)
6.2.2	频率测量与虚拟频率计	(290)
6.2.3	相位差测量与虚拟相位差计	(294)
6.2.4	电参量 $R, L, C$ 的测量与虚拟 $R, L, C$ 测量仪	(302)
6.2.5	失真度测量与虚拟失真度测量仪	(308)
6.2.6	传递函数的测量与虚拟传递函数测试仪、频谱分析仪	(310)
6.2.7	虚拟数字滤波器	(312)
6.3	虚拟仪器产品实例简介	(319)
6.3.1	Lab-PC-1200 多功能数据采集卡(DAQ)	(319)
6.3.2	LabWindows/CVI 软件开发平台	(320)
6.3.3	实例简介(一)——虚拟相位差计的实现	(323)
6.3.4	实例简介(二)——静态标定数据的处理	(327)
<b>第7章</b>	<b>现场总线智能仪器仪表</b>	
7.1	概述	(331)
7.1.1	发展背景	(331)
7.1.2	现场总线控制系统中现场总线仪表的特点	(332)
7.1.3	现场总线智能仪器、仪表的基本结构	(332)
7.2	现场总线智能仪表的通讯功能	(333)
7.2.1	通讯协议简介	(333)
7.2.2	实现通讯功能的硬件介绍协议(HART)	(339)
7.3	现场总线仪表实例简介	(342)
7.3.1	现场总线压力变送器 LD302	(342)
7.3.2	3051 型智能压力变送器	(345)
7.3.3	EJA 型差压压力智能变送器	(346)

## 参考书目

# 绪 论

## 0.1 测试技术的作用及其发展

测试的基本任务是获得有用的信息。测试的过程是借助专门的设备、仪器、测试系统,通过适当的实验方法与必需的信号分析及数据处理,由测得的信号求取与研究对象有关信息量值的过程,最后将其结果提供显示或输出。因此,测试技术是属于信息科学范畴,是信息技术三大支柱(测试控制技术、计算技术和通讯技术)之一。

测量是以确定被测物属性量值为目的的一组操作。测试是具有试验性质的测量,或者可理解为测量与试验的综合。

信号是传递信息的时间函数,是信息的实际承运者,只有通过处理分析后获得的信息才有意义。

信息是对信号经过分析处理后的有用部分,它表征被测对象运动与状态的某种特征与属性。例如,测得电机振动的振幅随时间变化的信号为  $x(t)$ ,经信号处理可求得信号的特征值:均方值、均值、方差、概率密度函数,则可分别获得对应振动强度、平稳振动幅度、波动情况、振幅取值概率等有用信息。

测试技术与科学研究、工程实践密切相关。科学技术的发展促进测试技术发展,测试技术的发展反过来又促进科学技术的提高,相辅相成推动社会生产力不断前进。

第一代测试仪器是以电磁感应基本定律为基础的模拟指针式仪表。当 50 年代出现了电子管、60 年代出现晶体管时,便产生了以电子管或晶体管为基础的第二代测试仪器——分立元件式仪表。70 年代出现了集成电路,产生了以集成电路芯片为基础的第三代仪器——数字式仪表。随着微电子技术和微处理器的普及,80 年代以微处理器为中心的第四代仪器——智能式仪表迅速普及。现在,微电子技术及计算机技术的飞速发展,测试技术与计算机深层次的结合正引起测试仪器领域里一场新的革命,一种全新的仪器结构概念导致新一代仪器——虚拟仪器的出现,进而产生集成仪器,再由单台仪器子系统向多台仪器组成的大的测试系统方向发展。

科学技术与生产水平的高度发达,要求有更先进的测试技术与仪器作基础。据统计:

- 大型发电机组需要 3 000 台传感器及其配套监测仪表;
- 大型石油化工厂需要 6 000 台传感器及其配套监测仪表;
- 一个钢铁厂需要 20 000 台传感器及其配套监测仪表;
- 一个电站需要 5 000 台传感器及其配套监测仪表;
- 一架飞机需要 3 600 只传感器及其配套监测仪表;
- 一辆汽车需要 30~100 只传感器及其配套监测仪表。

在各种现代装备系统的设计和制造工作中,测量工作内容已占首位。测量系统的成本已达到该装备系统总成本的 50%~70%,它是保证现代工程装备系统实际性能指标和正常工作的重要手段,是其先进性能及实用水平的重要标志。以电厂为例,为了实现安全高效供电,电

厂除了实时监测电网电压、电流、功率因数进而监测频率、谐波分量等电气量外,还要实时监测电机各部位的振动(振幅、速度、加速度)以及压力、温度、流量、液位等多种非电气量,并实时分析处理、判断决策、调节控制,以使系统处于最佳工作状态。如果测量系统不够完备,主汽温度测量值有+1%的测量偏差,则汽机高压缸效率减少3.7%;若主汽流量测量值有-1%的测量偏差,则电站燃烧成本增加1%。又如:为了对工件进行精密机械加工,需要在加工过程中对各种参数,如位移量、角度、圆度、孔径等直接相关量以及振动、温度、刀具磨损等间接相关参量进行实时监测,实时由计算机进行分析处理,然后由计算机实时地对执行机构给出进刀量、进刀速度等控制调节指令,才能保证预期高质量要求,否则得到的将是次品或废品。再如:我们不能设想一个微米级、纳米级线宽的集成电路生产线,它们的测量准确度达不到微米级、纳米级。

在科学技术与社会生产高度发达的今天,要求与之适应的测试仪器与系统虽然错综复杂,被测对象的跨度既广泛又具多样性,但是归纳起来主要是:

- 能够测量多种参量,既有电气量,又有非电气量;
- 具有多个输入通道,可进行多点测量;
- 能够快速进行动态在线实时测量,因为95%的被测信号是随时间变化的动态信号;
- 能够实时快速进行信号分析处理,排除噪声干扰、消除偶然误差、修正系统误差,从而实现测量结果的高准确度以及具有对被测信号的高分辨能力。

能够实现上述要求的测试系统,惟有以计算机为中心的测试系统。

## 0.2 现代测试系统的基本结构与类型

以计算机为中心的现代测试系统,采用数据采集与传感器相结合的方式,能最大限度地完成测试工作的全过程。它既能实现对信号的检测,又能对所获信号进行分析处理求得有用信息。传统的测试则是由传感器或某些仪表获得信号,再由专门的测试仪器对信号进行分析处理而获得有限的信息。

现代测试系统大致可分为三类:基本型、标准接口型与闭环控制型。

### 0.2.1 基本型

图0-1所示为计算机控制现代测试系统的基本形式。它能完成对多点、多种随时间变化参量的快速、实时测量,并能排除噪声干扰,进行数据处理、信号分析,由测得的信号求出与研

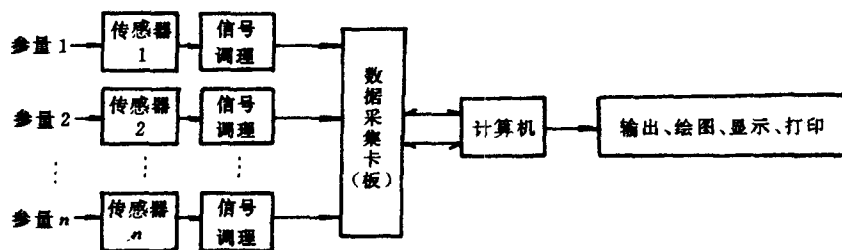


图 0-1 计算机控制现代测试系统的基本形式框图

究对象有关信息的量值或给出其状态的判别。

系统各组成部分的功能：

1. 传感器 完成信号的获得,它将被测参量转换成相应的可用输出信号,被测参量可以是各种非电气参量,也可以是电气参量。如电力输电线路高电压电网,可通过电压互感器将高电压变为 100V 电压,通过电流互感器将电网大电流变为 5A 后仍需采用电压、电流传感器或变送器再将 100V 电压及 5A 电流分别转换成 5V 低电压后送入数据采集卡(板)中的 A/D 转换器。

2. 信号调理 来自传感器的输出信号通常是含于干扰噪声中的微弱信号。因此,后面配接的信号调理电路的基本作用有两个:其一是放大,将信号放大到与数据采集卡(板)中的 A/D 转换器相适配;其二是预滤波,抑制干扰噪声信号的高频分量,将频带压缩以降低采样频率,避免产生混淆(见第 1 章)。如果信号调理电路输出的是规范化的标准信号,即 4~20mA 电流信号,则称这种信号调理电路为变送器。此外,根据需要还可进行信号隔离与变换等。

3. 数据采集卡(板) 主要功能有三:其一是由衰减器和增益可控放大器进行量程自动切换;其二是由多路切换开关完成对多点多通道信号的分时采样,时间连续信号  $x(t)$  经过采样后变为离散时间序列  $x(n)$ ,  $n=0,1,2,\dots$ ;其三是将信号的采样值由 A/D 转换器转换为幅值离散化的数字量,或由 V/F 转换器转换为脉冲频率以适应计算机工作。

4. 计算机 是系统的神经中枢,它使整个测量系统成为一个智能化的有机整体,在软件引导下按预定的程序自动进行信号采集与存贮,自动进行数据的运算分析与处理,指令以适当形式输出、显示或记录测量结果。

图 0-1 所示的基本型现代测量系统是目前以计算机为中心的现代测量系统的主要形式。

还需特别指出的是,随着微电子技术的发展,将传感器与信号调理电路集成为一体化的芯片已经实现,甚至将传感器、信号调理电路、数据采集以及微计算机或微处理器全部系统集成在一块芯片的产品也已面世,因此,传感器与仪器的界线正在消失。

### 0.2.2 标准通用接口型

系统的结构形式可分为专门接口型和标准通用接口型。专门接口型是将一些具有一定功能的模块相互连接而成。由于各模块千差万别,组成系统时相互间接口十分麻烦,而且模块是系统不可分割的一部分,不能单独使用,缺乏灵活性。标准通用接口型也是由模块(如台式仪器或插件板)组合而成,所有模块的对外接口都按规定标准设计。组成系统时,若模块是台式仪器,用标准的无源电缆将各模块接插联接起来就构成系统。若模块为插件板,只要将各插件板插入标准机箱即可。组建这类系统非常方便,例如 GPIB 系统、VXI 系统就属这类系统,虽然首次投资大,但有利于组建大、中型测量系统。

#### 0.2.2.1 GPIB(General Purpose Interface Bus)

GPIB 测试系统是一种通用接口测试系统,结构形式如图 0-2 所示。它是由一台 PC 机、一块 GPIB 接口卡和若干台 GPIB 仪器子系统构成。其中每个仪器子系统是一台带 GPIB 接口的单台仪器。该接口在功能上、电气上和机械接插上都按国际标准设计,内含 16 条信号线,每条线都有特定的意义。即使不同厂家的产品也相互兼容具有互换性,组建系统时非常方便,拆散后各仪器子系统又可作单台仪表独立使用。一块 GPIB 接口卡可带多达 14 台仪器。

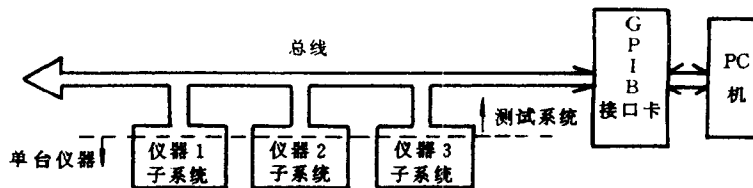


图 0-2 GPIB 通用接口测试系统

### 0.2.2.2 VXI 总线系统

VXI 是结合 GPIB 仪器和数据采集板(DAQ)的最先进技术而发展起来的高速、多厂商、开放式工业标准。VXI 总线是一种高速计算机总线——VME 总线在仪器领域的扩展,它是 VMEbus Extension for Instrumentation 的缩写。VME 总线标准自 1981 年确立以来,在国际上得到广泛应用。但是,基于仪器的 VME 总线存在有一个最大的问题是缺乏配套标准。1987 年 7 月,美国五家大仪器公司主动联合起来,在 VME 总线标准的基础上制定了开放系统结构仪器所必需的附加标准,命名为 VXI 总线。

VXI 总线系统是机箱式结构,如图 0-3 所示。一个接插模块就相当于一台仪器或特定功能的器件,多个模块共存于一个机箱组成一个测试系统。随着 VXI 总线规范的不断完善和发展、VXI 即插即用系统联盟的不懈努力,VXI 系统的组建和使用越来越方便,它的高速率传输、模块式结构不仅使得仪器结构紧凑、小巧轻便,更使得集多种功能于一体的现代集成式虚拟仪器变成现实。

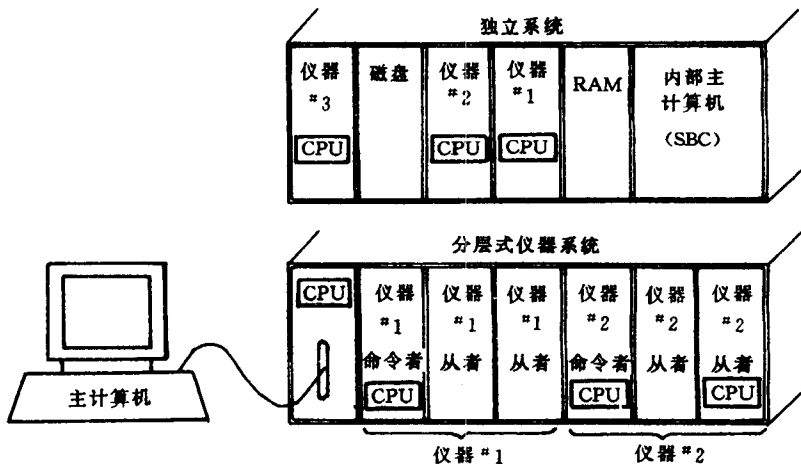


图 0-3 典型的 VXI 总线系统配置

### 0.2.3 闭环控制系统中的测试系统——闭环控制型

闭环控制型是指应用于闭环控制系统中的测试系统。生产工艺过程的自动控制是人们长期探索的生产方式,但是,只有在计算机技术及现代测试技术突飞猛进的今天,才能达到高度的控制水平。通过对关键参数实时在线检测并控制这些参数按预定的规律变化,来达到维持生产的正常进行和达到高产优质的目的。过程的自动控制大体上可归纳为三个环节:

·实时数据采集:对过程中的有关物理量的瞬时值进行扫描。

·实时判断决策:对采集的表征过程状态的物理量进行运算分析、判断决策,并按已定的原则决定下一步过程控制的措施。

·实时控制:根据决策,按照自动控制理论实时地对各个执行机构发出控制信号。

很显然,计算机控制的现代测试系统基本型就是闭环控制系统的前两个环节,这是以计算机为中心的现代测试系统应用于大规模、现代化生产中的主要形式,是正在发展中的现场总线(Fieldbus, CAN bus)中的智能仪表、设备。

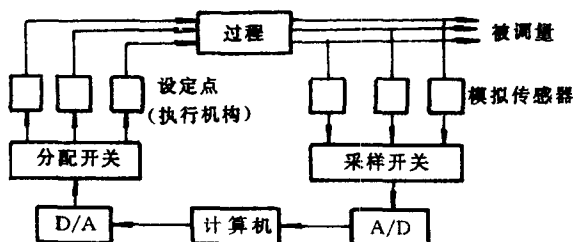


图 0-4 生产工艺过程闭环控制系统中的测试系统

### 0.3 现代电测技术的发展趋势

随着微电子技术、计算机技术及数字信号处理(DSP)等先进技术在测试技术中的应用,就共性及基础技术而言,现代电测技术的发展趋势是:集成仪器、测试系统的体系结构、测试软件、人工智能测试技术等方面,在此诸方面中我们着重说明下述两个方面。

#### 0.3.1 集成仪器概念

仪器与计算机技术的深层次结合产生了全新的仪器结构概念。从虚拟仪器、卡式仪器、VXI 总线仪器……直至集成仪器概念,至今还未有正式的定义。一般说来,将数据采集卡插入计算机空槽中,利用软件在屏幕上生成虚拟面板,在软件导引下进行信号采集、运算、分析和处理,实现仪器功能并完成测试的全过程,这就是所谓的虚拟仪器。即由数据采集卡、计算机、输出(D/A)及显示器这种结构模式组成仪器通用硬件平台,在此平台基础上调用测试软件完成某种功能的测试任务,便构成该种功能的测量仪器,成为具有虚拟面板的虚拟仪器。在此同一平台上,调用不同的测试软件就可构成不同功能的虚拟仪器,故可方便地将多种测试功能集于一体,实现多功能集成仪器。因此,出现了“软件就是仪器”的概念,如对采集的数据通过测试软件进行标定和数据点的显示就构成一台数字存储示波器;若对采集的数据利用软件进行 FFT 变换,则构成一台频谱分析仪,……。

#### 0.3.2 测试软件

在测试平台上,调用不同的测试软件就构成不同功能的仪器,因此软件在系统中占有十分重要的地位。在大规模集成电路迅速发展的今天,系统的硬件越来越简化,软件越来越复杂;

集成电路器件的价格逐年大幅下降,而软件成本费用则大幅上升。测试软件不论对大的测试系统还是单台仪器子系统来讲都是十分重要的,而且是未来发展和竞争的焦点。有专家预言:“在测试平台上,下一次大变革就是软件。”信号分析与处理要求取的特征值,如:峰值、真有效值、均值、均方值、方差、标准差等,若用硬件电路来获取,其电路是极为复杂的;若要获得多个特征值,电路系统则很庞大;而另一些数据特征值,如相关函数、频谱、概率密度函数等则是不可能用一般硬件电路来获取的,即使是具有微处理器的智能化仪器,如频谱分析仪、传递函数分析仪等(其价格极其昂贵,是“贵族式”仪器)。而在测试平台上,信号数据特征的定义式用软件编程很容易实现,从而使得那些只能是“贵族式”分析仪器才具有的信号分析与测量功能得以在一般工程测量中实现,使得信号分析与处理技术能够广泛普及地为工程生产实践服务。

软件技术对于现代测试系统的重要性,表明计算机技术在现代测试系统中的重要地位。但不能认为,掌握了计算机技术就等于掌握了测试技术。这是因为,其一,计算机软件永远不可能全部取代测试系统的硬件;其二,不懂得测试系统的基本原理不可能正确地组建测试系统,不可能正确应用计算机。一个专门的程序设计者,可以熟练而又巧妙地编制科学算题的程序,但若不懂测试技术则根本无法编制测试程序。测试程序是专业程序编制人员无法编写的,而必须且只能由精通测试技术的工程人员来编写。因此,现代测试技术既要求测试人员熟练掌握计算机应用技术,更要深入掌握测试技术的基本理论。

因此,通用集成仪器平台的构成技术与数据采集、数字信号分析处理的软件技术是决定现代测试仪器、系统性能与功能的两大关键技术。以虚拟/集成仪器为代表的现代测试仪器、系统与传统测试仪器相比较的最大特点是:用户在集成仪器平台上根据自己的要求开发相应的应用软件,就能构成自己需要的实用仪器和实用测试系统,其仪器的功能不限于厂家的规定。因此,学习、了解测量原理是非常必要的。

# 第 1 章 信号分析与处理初步

一个信号包含着反映被测系统的状态或特性的某些有用的信息,它是人们认识客观事物内在规律、研究事物之间的相互关系、预测未来发展的依据。

信号与系统是不可分离的。系统将输入的信号  $x(t)$  按某种特定功能转换为输出信号(又称响应)  $y(t)$ 。  $y(t)$  与  $x(t)$  不同的特性取决于系统的特性  $h(t), H(\omega)$ 。因此,信号分析的任务有两方面:其一是分析信号本身的特性,即求取表征信号特性的特征值、特征参数、频率结构等,也就是从信号数据中提取有用信息;其二是分析信号依附的系统的动态特性,寻求良好动态特性的系统以有利于有用信息的提取。

任何信号的特征都可以用一组数据来描述,这种能描述信号特征的数据被称之为信号的数据特征。通常,对作为时间函数的动态信号来说,要完整地描述其特征至少要从幅值域、时(间)域、频(率)域、时延域四个域进行分析。信号类型不同时,在各个域中的数据特征也不一样。例如,确定性信号的数据特征有:

- ① 时间域 峰值、有效值、绝对平均值、波形因数、波峰(顶)因数、……;
- ② 幅值域 概率密度函数等;
- ③ 频率域 频谱(幅值谱、相位谱)等;
- ④ 时延域 自相关函数、互相关函数等。

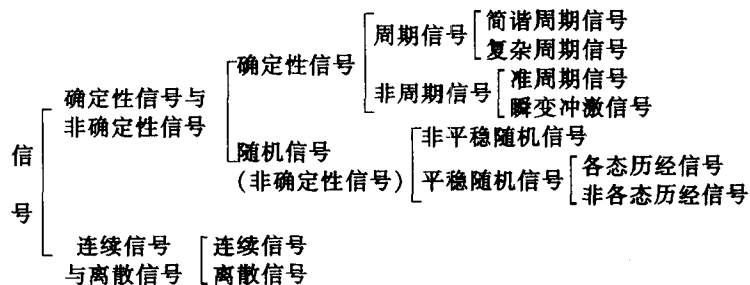
随机信号的数据统计特征:

- ① 时间域 均值、均方值、均方根值、方差、标准差等;
- ② 幅值域 概率密度函数;
- ③ 频率域 频谱密度函数、自功率谱密度函数、互功率谱密度函数等;
- ④ 时延域 自相关函数、互相关函数等。

由此可见,信号分析内容十分广泛,主要由谱分析、滤波技术、相关分析、统计分析等基本内容组成。它们既是进行信号分析处理的工具,也是实现各种测量功能的理论基础,虚拟仪器的实现将充分说明这一点。

## 1.1 信号的分类

工程测量中被观测的信号是时间  $t$  的函数  $x(t)$ ,按其性质不同其分类情况如下:





### 1.1.1 确定性信号与非确定性(随机)信号

#### 1.1.1.1 确定性信号

确定性信号的时间函数  $x(t)$  能用明确的数学关系式表示,任一瞬时信号都有一个完全确定的数值。在相同条件下,对这种信号重复多次测量,在一定误差范围内能够得到相同的结果。反之就是随机信号,或称非确定性信号。确定性信号又可进一步分为周期性信号和非周期性信号两种。

1. 周期信号 是按一定的时间  $T$ (称为周期)自行重复变化的信号,它满足下列关系式

$$x(t) = x(t + T) = x(t + 2T) = \dots = x(t + nT) \quad (1-1)$$

其中  $n = \pm 1, \pm 2, \dots$

(1) 简谐周期信号 正弦或余弦信号是最简单的周期信号,其时间函数表达式为

$$\begin{aligned} x(t) &= A \sin(2\pi ft + \Phi) \\ x(t) &= A \cos(2\pi ft + \Phi) \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中  $A$ ——振幅;

$f$ ——频率;

$\Phi$ ——初相位。

当三者完全确定时,信号  $x(t)$  在任意给定时刻的数值就被完全确定。

在实际中有很多物理现象如:交流发电机的输出电压信号、不平衡旋转或摆动重物的振动信号等都是简谐周期信号。

(2) 复杂周期信号 由两个或两个以上简谐周期信号叠加而成的信号。它具有一个最长的基本重复周期,与该基本周期频率一致的谐波称为基波,其他谐波为基波频率的整数倍。

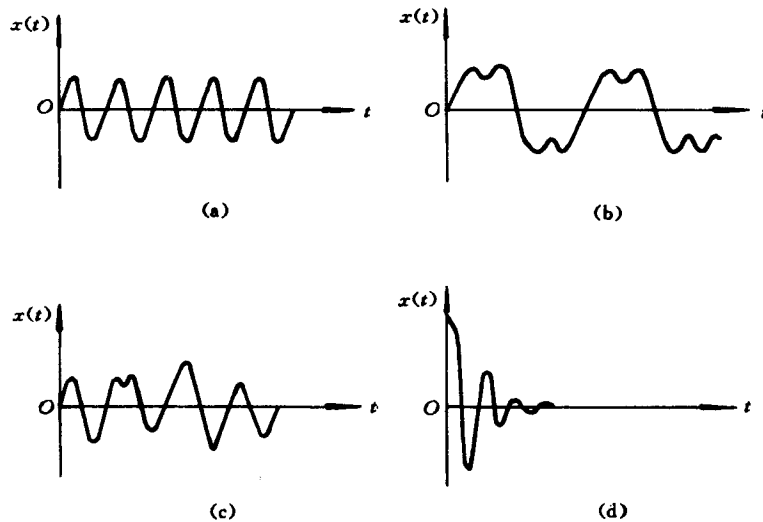


图 1-1 确定性振动信号

(a) 简谐振动; (b) 复杂周期振动; (c) 准周期振动; (d) 瞬态振动

2. 非周期信号 不存在基本周期,在时间上永不重复的信号。它又可分为准周期信号和瞬变冲激信号两种。