

现代测试系统

刘文彦 周学平 刘 辉 编著

国防科技大学出版社

73.9.19
181

现代测试系统

刘文彦
周学平 编著
刘 辉

369/04

国防科技大学出版社

内 容 简 介

本书介绍了现代测试系统的组成及其工作机制,全文分八章叙述,包括:绪论,干扰及其抑制,信号传输,信号处理,数据采集与控制系统,GP-IB 标准接口系统及其应用,CAMAC 标准接口系统,VXI 总线系统。

本书可供高校检测技术与仪器专业作教材之用,亦可供从事测试技术、自动控制等专业人员参考。

现代测试系统

编 著 刘文彦 周学平 刘 辉
责任编辑 潘生 邹向曙 谢小伟
责任校对 朱宝龙

*

国防科技大学出版社出版发行
湖南长沙(410073) 电话:(0731)4555681
新华书店总店科技发行所经销
湖南大学印刷厂印装

*

开本:787×1092 1/16 印张:19.875 字数:459 千
1995 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1~2500 册

ISBN 7-81024-351-9
TH·9 定价:25.80 元

前 言

测试系统是获取信息的设备,在国防试验、科学研究和经济建设的各个领域中起着越来越重要的作用。

现代测试系统就其功能而言,应具备信息采集、信号传输、信号处理和结果的表征四大部分。它涉及到传感技术、电磁兼容技术、信号传输技术、数据采集技术、信号处理技术、计算机技术、接口技术等诸多技术。作者根据国防科技大学《检测技术与仪器》专业教学大纲的要求,在多年教学和科研实践的基础上,精选其内容,将必备的基本理论和必需的工程实践紧密结合在一起,编写成专业教材。

全书共八章。第一章概括介绍测试技术的发展、现代测试系统的类别、特点和基本结构。第二章在叙述各类影响测试精度的干扰信号之后,从耦合角度出发,详尽地分析各类干扰信号形成的机理以及抑制干扰信号的技术措施。第三章说明信号传输技术在现代测试系统中的地位;论述信号传输技术中的各类模拟调制、数字调制的原理,着重信号的频谱分析和调制解调的方法。第四章以提高测试精度为主线,详细地讨论信号滤波、信号线性化处理和系统自校准的原理,并给出硬件和软件处理方法。第五章为数据采集和控制系统。阐述计算机与各类外部设备的接口技术,着重 A/D 和 D/A 转换的应用。第六、七、八章分别介绍 GP-IB、CAMAC、VXI 三种国际标准接口系统,包括它们的特点、总线规范以及一些应用实例。

本文由刘文彦主编并编写第一、二、三、四、七章,周学平编写第五、六章,刘辉编写第八章。

本书可作为高等理工科院校测试专业本科生教材,也可供有关工程技术人员参考。

鉴于作者水平,书中有不妥之处,恳请读者指正。

编者

1995 年 9 月

目 录

第一章 绪 论

1.1 测试技术的作用及其发展	(1)
1.2 现代测试系统的特点	(3)
1.2.1 现代测试系统的分类	(3)
1.2.2 现代测试系统的特点	(4)
1.3 现代测试系统的基本结构	(6)
1.3.1 非电量的特征	(6)
1.3.2 计算机控制的数据采集系统	(6)
1.3.3 标准接口系统	(9)
1.3.4 工艺过程计算机闭环采样控制系统	(10)

第二章 干扰及其抑制

2.1 干扰源	(12)
2.1.1 干扰的分类	(12)
2.1.2 自然干扰	(12)
2.1.3 电气设备干扰	(13)
2.1.4 内部干扰	(14)
2.2 干扰的耦合	(15)
2.2.1 电阻耦合	(15)
2.2.2 容性(电场)耦合	(16)
2.2.3 感性(磁场)耦合	(18)
2.3 电磁屏蔽	(19)
2.3.1 电场屏蔽	(19)
2.3.2 磁场屏蔽	(21)
2.4 接 地	(24)
2.4.1 安全接地	(24)
2.4.2 信号接地	(25)
2.4.3 电缆屏蔽层的接地	(28)
2.4.4 隔离	(29)

第三章 信号传输

3.1 信号传输中的基本问题	(32)
3.1.1 概 述	(32)
3.1.2 信号传输中的基本问题	(32)
3.2 调制原理	(34)
3.2.1 概述	(34)
3.2.2 调幅	(38)

3.2.3 角调制	(43)
3.3 脉冲调制	(51)
3.3.1 模拟信号的采样	(51)
3.3.2 脉冲幅度调制	(51)
3.3.3 脉宽调制与脉位调制	(53)
3.4 多路传输原理	(54)
3.4.1 频分制多路传输	(55)
3.4.2 时分制多路传输	(58)
3.4.3 频分制和时分制的比较	(60)
3.5 数字信号的基带传输	(60)
3.5.1 概述	(60)
3.5.2 数字基带信号的码型	(61)
3.5.3 PCM 基带信号的功率谱	(62)
3.5.4 信道对信号波形的影响	(63)
3.5.5 幅频特性的滚降	(64)
3.6 数字信号的频带传输	(66)
3.6.1 数字调幅(ASK)	(66)
3.6.2 数字调频(FSK)	(67)
3.6.3 数字调相(PSK)	(68)

第四章 信号处理

4.1 引言	(71)
4.2 滤波	(72)
4.2.1 理想滤波器	(72)
4.2.2 滤波器的传递函数	(73)
4.2.3 RC 有源滤波器	(80)
4.2.4 RC 有源滤波器的设计方法	(85)
4.2.5 有源陷波器	(91)
4.3 信号线性化	(93)
4.3.1 线性化的意义	(93)
4.3.2 模拟硬件线性化器	(94)
4.3.3 特殊线性化器	(99)
4.3.4 用软件实现线性化	(102)
4.4 数据处理与系统自校准	(106)
4.4.1 误差的类型及其特点	(106)
4.4.2 测量数据的处理	(107)
4.4.3 测试系统的自校准	(110)
4.5 干扰信号的软件处理	(112)
4.5.1 单频率干扰信号的处理	(112)
4.5.2 测量曲线的平滑	(114)
4.5.3 强干扰信号的处理	(115)

第五章 数据采集与控制系统

5.1 接口和总线概述	(118)
5.1.1 接口	(118)
5.1.2 总线	(119)
5.2 模—数转换器与 DSP	(120)
5.2.1 A/D 转换器概述	(120)
5.2.2 ADC0809 与 MCS-51 单片机的接口	(120)
5.2.3 AD574 与微型计算机接口	(123)
5.2.4 A/D 转换器与计算机接口的一般规律	(128)
5.2.5 高速数字信号处理器(DSP)	(129)
5.3 数—模转换器	(131)
5.3.1 D/A 转换器概述	(131)
5.3.2 DAC0832 与 MCS-51 单片机接口	(131)
5.3.3 DAC0808 与微型计算机接口	(134)
5.3.4 DAC1210 与 MCS-51 接口	(135)
5.4 示波器及 X-Y 绘图仪接口	(137)
5.4.1 示波器与微处理机接口	(137)
5.4.2 X-Y 绘图仪与微处理机接口	(139)
5.5 标准音频磁带机接口	(140)
5.5.1 磁带录音机中磁带记录格式	(140)
5.5.2 磁带机接口电路	(141)
5.6 打印机接口	(143)
5.6.1 μ 80 打印机概述	(143)
5.6.2 接口信息及控制时序(Centronics 标准)	(143)
5.6.3 μ 80 打印机与 Z80-P10 的硬件连接	(144)
5.7 RS-232C 异步通信接口原理及应用	(145)
5.7.1 异步通信规程	(145)
5.7.2 RS-232C 接口	(146)
5.7.3 异步通信适配器	(148)
5.7.4 常用计算机间双 RS-232C 接口连接	(150)
5.8 STD 总线	(151)
5.8.1 总线的实现	(151)
5.8.2 总线信号的定义和排列	(152)
5.8.3 总线信号的功能	(153)
5.9 两级分布式测控、管理系统	(155)
5.9.1 概述	(155)
5.9.2 两级分布式测控、管理系统总体结构	(156)
5.9.3 上级机配置及功能	(156)
5.9.4 多路通信工作站配置及功能	(157)
5.9.5 前端机配置及功能	(157)
5.9.6 通信问题	(158)

第六章 GP-IB 标准接口系统及其应用

6.1 概述	(159)
6.1.1 GP-IB 标准接口系统的由来与发展	(159)
6.1.2 接口系统的基本特性	(159)
6.1.3 GP-IB 接口的应用	(160)
6.2 GP-IB 总线结构	(161)
6.2.1 器件职能	(161)
6.2.2 GP-IB 总线描述	(162)
6.2.3 三线挂钩过程	(164)
6.2.4 总线电缆及电缆接头	(165)
6.3 接口功能设置	(166)
6.3.1 讲者功能(T)和听者功能(L)	(166)
6.3.2 源挂钩功能(SH)和受者挂钩功能(AH)	(167)
6.3.3 控者功能(C)	(167)
6.3.4 服务请求功能(SR)	(167)
6.3.5 并行点名功能(PP)	(167)
6.3.6 远地/本地功能(R/L)	(167)
6.3.7 器件触发功能(DT)	(168)
6.3.8 器件清除功能(DC)	(168)
6.4 消息编码及传递	(169)
6.4.1 消息的分类	(169)
6.4.2 消息的编码	(171)
6.4.3 消息传递	(176)
6.5 接口功能的状态图	(177)
6.5.1 器件清除功能(DC 功能)状态图	(178)
6.5.2 器件触发功能(DT 功能)状态图	(178)
6.5.3 听功能(L 功能和 LE 功能)状态图	(179)
6.5.4 受者挂钩功能(AH 功能)状态图	(181)
6.5.5 讲功能(T 功能和 TE 功能)状态图	(183)
6.5.6 源挂钩功能(SH 功能)状态图	(185)
6.5.7 服务请求功能(SR)状态图	(187)
6.5.8 并行点名功能(PP 功能)状态图	(188)
6.5.9 远地/本地功能(RL 功能)状态图	(189)
6.5.10 控功能(C 功能)状态图	(190)
6.5.11 接口功能子集	(195)
6.5.12 器件接口功能的配置	(195)
6.6 GP-IB 接口设计	(196)
6.6.1 用中、小规模集成电路设计接口	(196)
6.6.2 用 GP-IB 专用大规模集成电路设计接口	(202)
6.6.3 用软件模拟实现接口功能	(212)
6.7 测量仪器的程控	(214)

6.7.1 概述	(214)
6.7.2 程控仪器的寻址	(215)
6.7.3 远控和本控切换	(216)
6.8 器件消息的编码格式	(219)
6.8.1 器件消息的一般编码格式	(219)
6.8.2 程控指令的编码格式	(224)
6.8.3 测量数据的编码格式	(226)
6.8.4 状态拜特的编码格式	(227)

第七章 CAMAC 标准接口系统

7.1 引言	(229)
7.2 基本机箱标准	(231)
7.2.1 CAMAC 系统的基本特点	(231)
7.2.2 机箱结构	(231)
7.2.3 信号电平标准	(233)
7.2.4 数据电路源标准	(233)
7.3 数据路及其操作	(234)
7.3.1 命令(NAF)	(234)
7.3.2 数据路操作的定时	(238)
7.3.3 数据及其传递	(241)
7.3.4 状态信息(L,B,Q,X)	(241)
7.3.5 公共控制(Z,C,I)	(248)
7.3.6 其它连线	(249)
7.3.7 组件设计与系统实例	(249)
7.4 CAMAC 分支系统	(250)
7.4.1 概述	(250)
7.4.2 分支总线的结构	(251)
7.4.3 分支操作与定时	(253)
7.4.4 分支驱动器与 A-I 型机箱控制器	(255)
7.5 CAMAC 串行系统	(257)
7.5.1 概述	(257)
7.5.2 电文格式	(258)
7.5.3 电文序列与 SCC 动作序列	(264)
7.6 多控制器系统	(267)
7.6.1 概述	(267)
7.6.2 辅助控制器总线(ACB)	(267)
7.6.3 辅助控制器总线的使用	(269)

第八章 VXI 总线系统

8.1 VXI 总线的由来与特点	(271)
8.1.1 VXI 总线的由来	(271)
8.1.2 VXI 总线的特点	(272)

8.2	VXI 系统的组成结构	(273)
8.2.1	VXI 插件及连接器	(273)
8.2.2	VXI 主机架	(274)
8.2.3	系统的控制方式和零插槽	(275)
8.2.4	VXI 系统组成结构实例	(276)
8.3	VXI 系统的总线结构	(277)
8.3.1	引言	(277)
8.3.2	P ₁ 连接器及有关的总线	(277)
8.3.3	P ₂ 连接器及有关的总线	(282)
8.3.4	P ₃ 连接器及有关的总线	(285)
8.4	VXI 总线器件及其通讯协议	(287)
8.4.1	VXI 总线器件分类	(287)
8.4.2	VXI 总线器件通讯协议	(288)
8.5	VXI 总线器件的实现	(291)
8.5.1	VXI 总线仪器	(291)
8.5.2	488-VXI 总线接口	(294)
	参考文献	(298)
	附录 A GP-IB 接口功能子集表	(299)
	附录 B GP-IB 英文缩写索引	(304)
	附录 C 集成电路符号对照	(308)

第一章 绪 论

1.1 测试技术的作用及其发展

科学技术和生产实践从来就与测试技术密切相关。在古代,人们为了掌握时间,最初是观察日照,后来发明了“日晷”,“立竿见影”就是最原始的时间测量装置的原理。显然,这种测量方法是极其粗略的,所得结果会因时因地而异。直到伽利略对摆的观察启发了后人利用谐振系统的周期来测量时间,各种机械钟表随之应运而生。在原子结构的秘密被进一步揭开的今天,以铯原子基态超精细结构的能级跃迁为基础的时间测量,其准确度相当于在30万年的误差不大于1s。长度的测量也是这样,原始的方法是利用人体某段长度(例如指幅、手臂长)为标准,用比较的方法确定被测物体的尺寸。当然,这种标准会因人而异。由于生产和贸易的发展,需要有统一的标准和测量方法,因此就以特定人——国王的手臂长度为标准。但国王不能事事在场,于是就截一段相等的木材来代替,这就是所谓“王码”,至今还保存在英国的温莎。现在,仅精密机械加工就要求长度的测量在 $1\mu\text{m}$ 以下的精度,显然采用“王码”就不合时宜了。但现在有几种基于衍射的系统,莫尔条纹系统以及电容测微仪都能在长度的测量中达到 $0.1\mu\text{m}$ 的精度,而激光干涉计的分辨率接近 10^{-9}m 。

科学技术的发展促进测试技术的发展,反过来,测试技术的发展又促进科学技术的提高,这种相辅相成的关系推动社会生产力不断前进。中国的秦始皇,罗马的西撒大帝抓了全国统一的度量衡器,推动了社会生产力的发展,这是众所周知的历史事实。如果说,这种关系历来就存在的话,那么,现代科学技术和现代测试技术的关系比任何时候更为密切。诚然,现代测试设备是科学研究的成果,但是,离开测试,科学技术也很难发展。中国有句古语:“工欲善其事,必先利其器。”用这句话来说明测试设备与科学技术的关系是很恰当的。这里,所谓“事”就是科学技术,而“器”则是测试设备。翻开科学发展史就会看到,许多重大的科学成就几乎都与某种新的实验仪器的诞生息息相关。1665年,虎克利用光学显微镜观察软木栓,首先发现了细胞,促进了生物学的发展;伽利略发明了望远镜,发现了一颗又一颗新星。历史上许多诺贝尔奖金获得者,就是由于发明了重要的科学实验装置而成功的。例如1927年威尔逊发明了云雾室,使人们看到了粒子运动的轨迹,从而对物质结构的认识大大前进了一步;1937年劳伦斯发明了回旋加速器,不用很高的电压就把粒子加速到具有很高的能量,揭示了原子核的秘密,使核物理有了重大发展;革拉色发明了气泡室;卡波尔发明了全息照相,等等。

在科学技术高度发达的时代,先进的测试系统所起的作用越来越大。70年代中期丁

肇中在西德的 MARK-J 实验（证实胶子存在的实验）中，采用了当代最先进的自动测试系统——NIM 系统和 CAMAC 系统。其中 NIM 有 300 个插件，CAMAC 有 200 个插件，仅电缆长度就达万余米。同样，精密机械加工中的测试，如果用陈旧的测试方法，即经过几个加工过程后进行人工质量检测，那么，这意味着所得到的产品往往是一个次品甚至废品。事实上，现代精密机械工艺中的测试，是在工件加工过程中对各种参数（例如位移量、角度、圆度、孔径等）和影响加工质量的间接参量（例如振动量、温度乃至刀具的磨损等）进行实时监测，随即将测试数据送入计算机进行分析和处理，然后计算机实时地向执行机构提供数据，从而达到对加工过程的反馈控制。只有这种在线测试——处理——控制三位一体化才能保证预期的高质量要求。要完成这样的任务，简单的仪器是不能胜任的，需要复杂而先进的测控系统来承担。

测试与科学技术的关系是如此紧密，它的应用之广是不言而喻的。现代工业、农业、国防、教育、医疗、交通、贸易等等，各行各业都迫切需要测试技术。没有现代化测试技术，四个现代化是难以实现的。

测试技术虽然从古代就开始，然而自动测试技术却是在最近 40 多年才发展起来的。在这短时间里，已经取得了令人兴叹的成就。

国外自动测试系统是在第二次世界大战后，首先为适应军事需要开始研制的。在最初十多年间，虽然在军事上的应用取得一定成功，但终因结构庞大、代价高昂，而在其它领域中还未得到广泛应用。直到 60 年代，由于半导体集成电路和数字计算机迅速发展，各类型号的自动测试系统才相继出现。这段时间的自动测试系统基本上具备了精度高、速度快、功能强的优点，而且有一定的数据分析和处理能力。但这些系统都是由分立元件和中小规模集成电路组成，其可靠性不高，且大多数是专用系统，欠通用性和灵活性。70 年代，由于大规模集成电路飞速发展和微处理机问世，加快了自动测试系统发展的步伐。特别值得提出的是，60 年代后期出现了 CAMAC 标准接口系统，70 年代初期出现了 GPIB 通用接口系统，80 年代后期又出现了 VXI 总线接口系统，大大增强了系统的通用性和灵活性，从而很快得到广泛应用，给自动测试系统注入了新的活力。

自从自动测试系统问世以来，进入市场的产品愈来愈多，其性能日趋提高，销售额逐年增长，而价格却逐年下降。销售额的年增长率远远超过整个电子测量工业的增长速度，这一发展趋势在今后若干年内将表现得更加明显。

从最近几年国外发展的电子测量仪器来看，还有一个明显的趋势是线路设计采用规模尽可能大的 ASIC 芯片（Application Specific Integrated Circuit——专用集成电路），其优越性是显而易见的，它使测试设备的结构更加紧凑，性能更加良好，保密性更强。1988 年 6 月，《Electronics Test》杂志出了一期 ASIC 专辑，宣称 ASIC 时代已经到来，90 年代将是 ASIC 年代。这一发展动态将使自动测试系统的面貌为之一新。

国内自动测试系统起步较晚，但发展迅速。60 年代停留在多点巡回检测阶段，1973 年开始研制以小型计算机为中心的数据采集、处理系统，1977 年后在风洞、发动机研究单位使用，取得良好效果。1978 年底，我国第一台计算机控制 FFT（快速傅里叶变换）实时信号分析系统诞生，这一成果标志着我国仪器系统走上数字化、自动化、多参数、多量程、多功能和快测速的道路，跨进了 70 年代初期的国际水平。80 年代，由于微型计算

机在我国得到广泛应用,各类型号的自动测试系统相继出现。1990年4月,长征运载火箭把同步卫星准确无误地送到预定位置,宣布我国西安卫星测控中心进入世界先进行列。但是,从总体水平来看,我国自动测试水平与世界先进国家相比还有一定差距,这是由于我国底子薄,基础工业、特别是集成电路制造还较落后所致。1991年,我国制定了八五计划和十年规划,把电子工业的发展放在战略的高度来对待,这意味着我国电子测量工业水平将在今后若干年内很快提高。

应该注意的是,一套现代化的自动测试系统,如果没有软件是不能发挥作用的,有什么样的软件就有什么样的自动测试系统。但是从现在情况来看,每个系统都有各自的语言和测试软件,五花八门互不通用。从用户的角度来说,总是希望有一种能够放在任何一家制造厂商的系统上进行操作的通用语言,如国外出现的ATLAS语言就是一种使测试语言实现标准化的尝试。但是在推行的过程中碰到很多困难,至今使用这种语言的制造公司寥寥无几。对于语言标准化问题,颇有代表性的看法是:(1)对于任何一种快速发展的技术来说,标准化是不切合实际的。等到把某些东西搞成标准时,它可能已经过时了。试图把语言搞得太通用,结果使这种语言变得臃肿不堪,用户感到既不精练又不适用。(2)大多数公司的专长是在软件方面,各家产品特点表现在软件上。要放弃自己的专长,放弃自己竞争的优势而搞标准化,显然难以取得一致意见。由此看来,实现语言通用化的可能性十分微小,甚至测试语言反而会越来越多。总的说来,测试硬件的发展十分迅速,相比之下,软件的发展跟不上需要,这是一个值得注意的问题。

1.2 现代测试系统的特点

1.2.1 现代测试系统的分类

在科学实验中,为了了解一个物理现象或验证一个理论,必须对实验中有关物理量进行测试,以获得确切的数和量的概念;在生产过程中,为了检查、监督和控制生产过程,使之处于最佳工作状态,必须掌握描述它们特性的各种参数,也首先要求测量这些参数的大小、方向、变化速度,等等。通常把这种含有测量、试验等较为广义的技术称为测试。在自动测试出现以前,测试是由人工直接参与的,现代科学实验和生产过程中的测试,要求精度高、测点多、速度快,结果显示和通报的形式多样化,这就要求测试设备实施准确而实时的控制,进行大量的数据处理工作,这是人工无法应付的事情,只能靠自动测试系统来完成。那么,什么样的系统才称得上自动测试系统呢?由于测试系统的自动化水平有高有低,处理数据的能力有大有小,因此给自动测试系统一个严谨的定义是不切实际的。但是有两个基本要求应该达到:一是在测试过程中,无须人工参与或者只要求简单的人工操作;二是能自动采集、分析和处理数据,并能自动显示或记录结果。因此可以这样说,一个自动测试系统是“在人工最少参与的情况下能自动采集、分析和处理数据,并能以适当的形式显示或记录结果的设备。”须指出,所谓“人工最少参与”是针对测试过程而言,并非整个测试任务的完成都能脱离人工参与。事实上,在测试之前还有大量的工作,譬如测试方案的拟定、系统的调试、软件的编制等,都必须由人工来完成。

现代测试系统从不同的角度出发可以分为不同的类型。从所用程控设备来分,可分

为程控器控制型和电子计算机控制型两类。前者构思简单，成本较低，适用于大量而重复的测试，如早期的巡回检测装置就属此类，这类系统的缺点是程序固定，只能做专门的测试，无数据处理能力。计算机控制型是可编程型，具有数据处理、存贮、判断、自动校准等功能，有一定的通用性，适合于完成复杂的综合测试和精密测试。由于大规模集成电路的发展，计算机价格迅速下降，这种系统的成本不断下降，已经成为占主导地位的系统。

从系统的结构形式分，可分为专门接口型和通用接口型。专门接口型是将一些具有一定功能的模块相互连接而成，优点是结构紧凑，模块利用率高。但是，由于各模块千差万别，组成系统时相互之间接口是十分麻烦的，而且各模块是系统不可分割的一部分，不能单独应用，缺乏灵活性。通用接口型也是由模块（如台式仪器或插件板）组合而成，不过所有模块的对外接口都是按规定标准设计。组成系统时，如果模块是台式仪器，用标准的无源电缆将各模块接插起来就成系统；如果模块为插件板，只要将各插件插入标准机箱即可。组建这类系统非常方便。这类系统的灵活性和可扩展性是显而易见的。GP-IB 系统、CAMAC 系统和 VXI 总线系统就属此类系统，但首次投资较大。

如果从系统用途的适应程度分，可分为专用系统和通用系统。前者是针对某种测试而专门设计的，效率高，可做得很精；后者适应性强，在不改变硬件情况下，仅修改软件就可完成另一种测试任务，这一点对用户是有吸引力的。应该指出，所谓通用仅是相对于专用而言，并非万能。另外，专门接口系统并不就是专用系统，它可以设计成具有较强的通用性；通用接口系统也并非就是通用系统，只能说它的接口通用性强。不能把两者混为一谈。

1.2.2 现代测试系统的特点

计算机技术日新月异的发展以及高速度、高精度 A/D 转换器的问世，将测试技术推向一个新的发展阶段。利用计算机来辅助测试，使得数据采集、处理和控制在融为一体。就当代高性能的自动测试系统来看，大都具有通道多、精度高、速度快、功能强、操作简便等特点。

1. 通道多

一台仪器一般只能测量一个参数，即使是数字万用表，具有测交直流电压、电流，测电阻值、测电容值，甚至测频率、测温度等多种能力，但是不具备同时测量这些参数的能力。自动测试系统配备多个信号通道，有的多达上千路。例如美国 Neff720 数据采集/处理系统，其基本通道 64 路，可扩展到 2048 路。对于多路信号，通过计算机软件控制，进行高速扫描采样。从宏观上看，测量过程是同时进行的。当然，采样速度也可根据实际需要而降低。由于多通道信号同时测量，大大提高了工作效率；同时，既检测到各个信号参数，还能检测各信号的相关特性。这对工业自动化、国防试验以及科学研究都是十分有用的。

2. 精度高

测试精度是测试仪器的基本要求。与单参数仪器相比，由于测试系统规模较大，通道信号相互干扰以及屏蔽、接地等方面存在较多的技术难题，精度要低一些。但是，目前高性能测试系统一般采用 14 位~16 位 A/D 转换器，而且具有下述数据处理能力：

自动校准——消除零漂、温漂、增益不稳定等系统误差；

多次测量求平均值——消除随机系统误差；

软件线性化处理——对传感器等硬件的非线性特性进行校正；

软件滤波——消除系统外部和内部引入的干扰。

另外，采用自动显示或打印结果，可消除人为的判读误差。以上几点使测试系统具有较高精度。对电参数测量而言，其精度可达 10^{-5} 。就此看来，整个系统的测试精度主要取决于传感器。

3. 速度快

高速测量与处理是测试系统追求的目标之一。这里所说的速度，是指从测量开始，经过计算机对信号进行处理，直到输出结果整个过程所花的时间。速度与精度是一对矛盾，一般来讲，精度要求低，速度可加快，反之亦然。影响速度的主要因素是 A/D 转换时间、计算机处理数据的时间、数传时间和终端运行时间。目前，采用 15 位的 A/D 转换器，其采样速度在 100kHz 以上，采用 8 位 A/D 转换器，采样速度可提高到 200MHz。如果多个 A/D 转换器并行工作，又可成倍提高数据采集速度。计算机的运行速度主要取决于时钟频率，目前 32 位微型计算机已经行销在市场上，其时钟频率在 33MHz 以上。最近几年出现的 DSP (Digital Signal Processing) 芯片，是一种高速运算部件，如 ADSP21020，浮点运算速度达每秒 4000 万次，完成 1024 点的 FFT 复数运算仅花 0.96ms。可见，电子器件的运行速度达到了相当快的程度，而一些终端部件，如机电式的打印机、绘图仪的速度，跟不上发展的需要。

4. 功能强

国内外先进的测试系统都具有很强的功能，以满足各类用户的需要。典型的功能归结为以下几个方面：

选择功能——量程选择、信号通道选择、通道扫描方式选择、采样频率选择等。

信号分析与处理——FFT、相关分析、统计分析、平滑滤波。

波形显示——实时显示多个被测信号的时域波形，即具有存储示波器功能。

自诊断——系统越复杂，自身故障的诊断越显得重要。目前计算机都具有自诊断能力，一般可诊断到插件板一级。一些通用性较强的测试系统，可以诊断到关键部位。

自校准——高精度的自动测试系统都配有标准信号源。测试时，对标准信号和被测信号分别进行测试，计算机对两个测试结果进行分析，消除系统误差。以上过程全是自动完成的。

绘图与打印——多数测试系统都配有绘图仪和打印机，能将测试结果以图形和表格形式输出，做到图文并茂，一目了然。

操作简便——当代先进的测试系统都追求高度自动化，即在测试与处理过程中无须人工参与，在测试前仅做简单的准备工作，例如面板按键选择或键盘操作。一般，专用系统采用面板选择较多，而较通用的系统则采用键盘操作，以人机对话方式设定系统工作模式。从而省去了繁琐的人工调节和大量的数据处理工作。

1.3 现代测试系统的基本结构

1.3.1 非电量的特征

在生产过程和科学研究中所接触到的被测量大多数是非电物理量,例如机械量:位移、力、转速、扭矩;发动机试验参数:应力、流量、振动;气象火箭探测量:温度、气压、风速、空气密度,等等。可见,非电量种类繁多,特性又千差万别,这无疑给测试工作带来不少困难。但是,如果仅看到测试对象的差异而不去寻求基本的测试技术和方法,就会在众多的测试对象面前缩手无策。那么,对各种各样的非电量测试,有没有共同的规律可循,有没有统一的理论基础呢?为此,我们首先了解非电信号的特点,以利于对问题进行分析。

1. 从时域特性来看,非电信号有模拟信号和离散信号之别。离散信号是在离散时间变量上定义的,如果信号的幅度也是离散的,则为数字信号。而模拟信号是连续时间、连续幅度的信号。大多数非电信号是模拟信号,例如加热炉的温升是逐渐升高的,机械加工中工件(或刀具)的位移量是逐渐进给的。因此,为适应电子计算机工作,把模拟量转换为数字量就是测试系统的一个重要环节。

2. 从频域特性来看,国防试验和机械工艺中信号的频率有低有高,但大多数属低频范围,有的近于直流量。频率高,要求采样速度和计算机处理速度高。频率低,对测试来说是有利的一面,但工业干扰正好落在此频段内,直流放大亦将引入零点漂移,而且不利于信号传输。因此,滤波技术、调制技术就显得尤为重要。

3. 非电信号并非独立存在,它们都处于环境的干扰和噪音的包围之中。

4. 非电信号能量强弱悬殊,其中强信号的测试指标容易达到,而弱信号的测试较之要难得多。考虑到前面的特点,弱信号测试对整个系统的灵敏度和精度都提出了较高的要求。因此,信号调节技术、抗干扰技术、误差处理技术是测试系统的重要课题。

5. 理论和实践证明,大多数非电信号通过一定形式的变换,可变成相应的电量。

最后一点极为重要,使我们可以用电测法检测各种非电量。电测技术在理论上比较成熟,实践证明行之有效。随着半导体技术、电子技术和计算机技术的飞速发展,给电测技术开辟了新的前景。

根据以上分析,我们的注意力将集中在干扰环境中模拟的、低频的、非电弱信号检测上。

1.3.2 计算机控制的数据采集系统

1. 典型的数据采集/控制系统

早期的数据采集系统完全是由分立元件拼凑起来的,结构庞大,可靠性差,无数据处理能力,精度低,而且几乎都是专用系统。时至今日,微型计算机已渗入到各个领域,数据采集系统的面貌也随之焕然一新,而且对数据具有计算、分析和判断的能力,因此又称为自动数据分析系统、智能测试系统。这种系统是由包括微型计算机在内的一些模块组成,由于集成度很高,模块不至于很多,因此结构紧凑,可靠性高。由于采用硬件和软件相结合的技术,系统具有相当的通用性,性能指标也可达到令人满意的程度。这种系统的基本结构形式用图 1.1 表示。

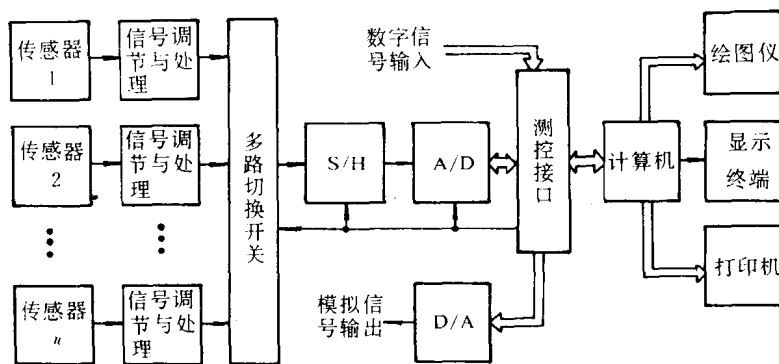


图 1.1 典型的数据采集/控制系统

图中被测信号由传感器转换成相应的电信号（最终是电压），这是任何非电检测必不可少的环节。不同信号其传感器是不同的。例如，若第1路被测信号是温度，其传感器可以是热电偶；第2路是力，传感器可以是应变片，等等。

传感器输出的信号不能直接送到输出设备进行显示或记录，需要进一步处理。信号的处理由两部分完成，即模拟信号处理和数字信号处理。后者由计算机承担。计算机以前的全部信号处理都是模拟信号处理。其中A/D（模/数）转换是关键环节，它的作用是将模拟量转换为数字量以适应计算机工作，在此以后的全部信号都是数字信号。当然，为了恢复原始信号波形或反馈控制而将数字量再转换为模拟量又是另一回事。

模拟信号调节与处理的内容是相当丰富的。信号调节的主要作用是使传感器输出信号与A/D转换器相适配，例如A/D转换的输入电平是0~5V，而传感器输出电平仅几毫伏（mV），这时必须采取放大措施以减小量化误差，放大器输出电平愈接近A/D输入的满标，相对误差也就愈小，这时的信号调节器是放大器。当然，若传感器输出电平过大，则信号调节器应是衰减器。如果传感器输出信号中或在传输过程中，混入了虚假成分，就需要进行滤波、压缩频带，用以降低采样率。另外，阻抗变换、屏蔽接地、调制与解调、信号线性化，等等，皆属处理范畴。一般说来，对弱信号测试，放大与滤波是最基本的环节。并非每个系统都得包含上述全部内容，对不同的测试任务，系统应包含哪些环节是有所选择的。

注意到被测信号有 n 个，相应的 n 个通道共享一个A/D转换器，这样做的目的是为了降低成本、减小体积。为了使各路信号互不混迭，系统中必须采用模拟多路切换开关。切换开关相当于一个单刀多掷（这里为 n 掷）开关，它的作用是把各路信号按预定时序分时地与保持电路接通。保持电路的引入是因为A/D转换需要一定时间，在转换期间模拟信号应保持不变。

带计算机的测试系统的性能是很高的。计算机在系统中究竟起何作用，有何优点呢？

（1）使测试自动化

由于计算机有信号存贮、判断和处理能力，所以能控制开关通断、量程自动切换、系统自动校准、自动诊断故障、结果自动输出，等等。总之，计算机是测试系统的神经中枢，它使整个系统成为一个有机的整体，使测试实现了自动化，从而也大大提高了测试速度。