

自动测试技术 与计算机仪器系统设计

阮德生



西安电子科技大学出版社

自动测试技术 与计算机仪器系统设计

阮 德 生

西安电子科技大学出版社

1997

(陕)新登字 010 号

内 容 简 介

本书较系统地介绍了当代最新仪器设计技术——自动测试技术的主要技术思想,介绍了以单片计算机和微型机(PC)为核心的现代自动化测试仪器的设计和自动测试系统的组建方法,对仪器虚拟功能和语音的设计方法也作了介绍。结合各章内容讲解还穿插了大量的单片机、PC机应用实例和程序。本书不但可以作为“电子测量”、“工业自动化仪表”、“检测技术及仪器”等电子测量和仪器仪表类专业的专业教材,也可作为其它电子工程类专业和计算机应用专业学生和工程技术人员的参考书。

自动测试技术
与计算机仪器系统设计
陈德安
责任编辑 谭玉瓦

西安电子科技大学出版社出版发行

西安电子科技大学印刷厂印刷

各地新华书店经销

开本 787×1092 1/16 印张 19 10/16 字数 464 千字

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月第 1 次印刷 印数 1-4 000

ISBN 7-5606-0501-X/TP·0237

定价: 19.50 元

前 言

微电子技术,传感器技术和计算机技术的迅速发展引发了仪器仪表技术的深刻变革,以计算机为核心的具有高度自动化测试功能的新一代仪器仪表正在迅速取代各种传统的电子测量设备。因此,自动测试技术与计算机仪器系统的设计方法已经成为当代仪器仪表工作者和电子技术工程师最关心的课题之一,也是各大专院校相关专业进行跨世纪人才培养的主要教学内容之一。由于我国这方面工作起步较晚,加上这项技术本身的发展也十分迅速,致使国内至今还没有形成一种完整的教材体系。我校于80年代初开始筹建“检测技术及仪器”新专业,并按我校的专业特点编写了“自动测试技术”这门全新专业课的试用教材。它经过8年的试用,其间为了吸取最新发展的技术成果,还进行了两次重大修改,逐步形成了自己的专业教学知识体系。这门新专业课的开出,其教学内容受到了同学们的普遍欢迎和肯定。这次正式出版时我们对有关内容又作了许多重大的增补,试图以更好的知识结构奉献给读者。

本教材比较系统地介绍了自动测试技术的原理以及以单片机和PC机为核心的智能仪器,个人(PC)仪器及其仪器系统的设计方法。其中第一章介绍了自动测试仪器设计中各种常用信号检测电路的原理及其设计方法,还对极端测试技术中有关微弱信号的检测原理与电路作了介绍。第二章介绍了单片机仪器基本电路的系统设计方法。第三、四章介绍的是各种智能仪器中常用仪器功能部件的设计方法。第五章介绍了PC仪器设计的原理和方法,对PC仪器虚拟功能的设计也作了介绍。第六章介绍的是当代自动化仪器设计中常用的仪器程序,数据处理及其分析算法。第七章介绍了自动测试系统的组建和接口设计。第八章简单介绍了当前最新仪器系统接口总线CAMAC和VXIbus的性能和概况,以期读者对仪器系统技术发展的趋向有所了解。在各章中结合相关内容的讲解都穿插有大量的应用实例和程序。所有这些内容的安排,目的只有一个,就是期望能使读者了解当前仪器技术的最新成果,以较快的速度掌握这种技术,设计出可以跨世纪的产品,为祖国争光。

诚然,由于本书所涉及的是当代科技领域中发展最快,知识更新最迅速的技术领域之一,知识面也比较宽,所以我们在选题和内容组织过程中难免有错,加上许多内容是我们多年的工作总结和拓宽,在一些新概念的提法上也难免有不当之处,诚请读者、专家能提出改进意见。在本书的形成和出版过程中得到了各方面的支持和帮助,也从有关参考资料和图书中获益匪浅,在此深表感谢!

编 者

于西安电子科技大学

1996年6月

目 录

结论	1	1.3.4 微弱信号检测技术	38
0.1 不同测量过程的称谓	1	第二章 智能仪器基本系统的	
0.1.1 测量	1	电路设计	43
0.1.2 计量	1	2.1 仪器中单片机的工作模式与	
0.1.3 检测	2	端口特性	43
0.1.4 测试	2	2.1.1 单片模式与扩展模式	43
0.2 测试系统的组成和特性	3	2.1.2 51 系列单片机的端口特性	44
0.2.1 测试系统的组成	3	2.1.3 80c31 与 80c552 的端口特性	46
0.2.2 测试系统的特性描述	3	2.1.4 M68HC11 单片机端口特性	48
0.3 基本测试技术的分类	4	2.1.5 96 系列单片机的端口特性	52
0.3.1 频域测试	5	2.2 存贮系统的扩展设计	54
0.3.2 时域测试	6	2.2.1 各种单片机存贮系统的	
0.3.3 统计域测试	6	组织形式	54
0.3.4 数据域测试	7	2.2.2 常用存贮器集成芯片	62
0.4 测试技术的自动化	8	2.2.3 单片机寻址空间的分区设计	62
0.4.1 自动测试系统的组成	8	2.2.4 51/96 机扩展存贮系统设计	63
0.4.2 自动测试系统的工作模式	8	2.2.5 M68HC11 存贮器的扩展设计	69
0.5 自动测试技术的发展	9	2.3 仪用键盘系统设计	72
0.5.1 初级自动测试仪器	9	2.3.1 分立式键盘	72
0.5.2 智能仪器仪表	10	2.3.2 矩阵式键盘	75
0.5.3 虚拟仪器	10	2.4 数据显示系统设计	81
0.6 自动测试技术的特点	11	2.4.1 LED 数据显示系统	81
第一章 信号检测技术与电路	12	2.4.2 LCD 数据显示系统	90
1.1 变换技术与电路	12	第三章 智能仪器功能部件系统	
1.1.1 测量桥的应用	12	设计(一)	101
1.1.2 Ω/V 变换电路	18	3.1 仪器常用输入输出接口电路	101
1.1.3 I/V 变换电路	19	3.1.1 简单的 I/O 电路接口方法	101
1.1.4 其它变换电路	20	3.1.2 隔离式 I/O 电路接口方法	104
1.2 测量放大器及其应用	23	3.1.3 可编程接口器件的应用	105
1.2.1 基本测量放大器	23	3.2 电压测量与数据采集系统设计	112
1.2.2 数据放大器	25	3.2.1 被测信号的采样与量化	113
1.2.3 可编程增益放大器	26	3.2.2 ADC 技术与数据采集系统	
1.2.4 电荷放大器	29	设计	115
1.2.5 电桥放大器	30	3.3 单片机片内 ADC 功能部件的应用	121
1.2.6 其它变送放大器及其应用	31	3.3.1 80c552 ADC 部件的应用	121
1.3 微弱信号检测技术与电路	31	3.3.2 M68HC11 ADC 部件的应用	123
1.3.1 噪声与干扰的基本特性	32	3.3.3 8098 ADC 部件的应用	123
1.3.2 有源滤波器电路	33	3.4 语音系统设计	129
1.3.3 高精度运算放大器的应用	36	3.4.1 仪用语音器件的接口方法	129

3.4.2 有声仪器语音系统设计	131	5.4.2 可唤醒图形色块	196
第四章 智能仪器功能部件系统		5.4.3 键盘检测与响应	197
设计(二)	134	5.4.4 图形下拉视窗的生成与恢复	197
4.1 单片机定时计数系统	134	5.4.5 信号显示视窗的设计	198
4.1.1 51 系列机定时计数系统	134	5.5 混合编程技术	199
4.1.2 80c552 定时计数系统	138	5.5.1 如何编写可被 C 语言调用的汇编过程	200
4.1.3 8098 的定时计数系统	141	5.5.2 仪器功能程序的混合编程方法	201
4.1.4 M68HC11 定时计数系统	142	第六章 仪器常用程序设计与算法	203
4.2 程控信号源设计	143	6.1 表格程序	203
4.2.1 定时计数式程控信号发生器设计	143	6.1.1 数据换算与函数求值	203
4.2.2 DAC 技术与数字电位器	149	6.1.2 命令表程序设计方法	205
4.2.3 数字合成式信号发生器	151	6.2 数据处理方法	206
4.2.4 频率可编程函数发生器和扫频方法	152	6.2.1 标度变换与校准	206
4.3 时间测量系统设计	153	6.2.2 数字滤波方法	207
4.3.1 闸门计时式时间测量系统设计	153	6.2.3 多点平均滤波	209
4.3.2 输入跳变捕捉计时式时间测量系统	154	6.3 函数拟合技术	209
4.4 频率测量系统设计	159	6.3.1 直线拟合法	210
4.4.1 闸门计数式频率测量系统	159	6.3.2 最小二乘法拟合法	211
4.4.2 定时输入捕捉计数式测频系统	161	6.3.3 曲线拟合法	211
4.4.3 周期反算测频	163	6.3.4 拟合在滤波技术中的应用	212
第五章 PC 仪器设计	165	6.4 数字相关分析	213
5.1 PC 仪器设计基础	165	6.4.1 自相关分析	214
5.1.1 PC 仪器系统的组成	165	6.4.2 互相关处理方法	215
5.1.2 关于系统总线	166	6.4.3 数字相关程序设计	216
5.1.3 PC 仪器的设计步骤	170	6.5 谱分析算法	217
5.2 PC 仪器的硬件电路设计	170	6.5.1 周期与非周期信号的频谱分析	218
5.2.1 总线驱动与控制	170	6.5.2 功率谱分析	219
5.2.2 PC I/O 地址译码电路设计	172	6.5.3 相干分析	220
5.2.3 PC 仪器中 I/O 接口电路设计	175	6.5.4 谱分析的数学方法	221
5.2.4 PC 仪器数据采集系统设计	177	6.5.5 DFT 的快速算法(FFT)	222
5.2.5 PC 仪器中的 DAC 技术	180	第七章 GPIB 系统组建与仪器程控原理	230
5.3 PC 仪器菜单程序设计	182	7.1 GPIB 的性能和结构	231
5.3.1 常用 TC/TC++ 可调用函数	182	7.1.1 GPIB 的基本性能	231
5.3.2 简易点号式菜单设计	187	7.1.2 GPIB 的结构和功能	231
5.3.3 彩色汉字弹出式菜单设计	188	7.1.3 GPIB 的机械规范	236
5.4 图形面板的虚拟设计	196	7.2 GPIB 接口功能和三线连锁挂钩	236
5.4.1 图形方式初始化方法	196	7.2.1 接口功能的设置	236
		7.2.2 三线连锁挂钩	238
		7.2.3 串行点名和并行点名	239

7.3 GPIB 接口器件及其应用	242	8.1.3 单机箱 CAMAC 系统的 UCC	280
7.3.1 MC68488 的应用	243	8.1.4 平行分支总线和多机箱 平行系统	282
7.3.2 Intel 8291 通用接口芯片	255	8.1.5 串行系统	283
7.3.3 用 8255 实现 GPIB 接口的 设计方法	257	8.1.6 CAMAC 编程用软件工具	284
7.4 测试仪器的程控原理	258	8.2 VXIbus 系统	285
7.4.1 程控仪器的编址	259	8.2.1 VXIbus 系统的箱体结构	285
7.4.2 仪器消息及其编码格式	262	8.2.2 VXIbus 的构成	287
7.4.3 程控命令的编码	266	8.2.3 VXI 总线系统	291
7.4.4 测量数据的编码方法和 输出方式	272	附录	293
第八章 CAMAC 系统和 VXIbus 简介	276	附录一 简明 51 系列单片机指令表 (80c31/80c552 兼容)	293
8.1 CAMAC 系统	276	附录二 简明 8098 指令表	295
8.1.1 机械结构和基本电气规定	277	附录三 MC 68HC11 指令集	297
8.1.2 机箱系统结构	277	附录四 HD44780 字库表	305

绪 论

0.1 不同测量过程的称谓

在测量技术的发展过程中,由于技术的进步,被测对象和范畴不断扩大,出现了一些不同性质的测量过程,人们为了加以区别,提出了四种不同的称呼:测量、计量、检测、测试。为此我们首先讨论这四种不同称呼的意义和它们之间的关系。

0.1.1 测量

测量是人类认识客观世界的最基本的方法。测量技术也是人类科学技术和改造客观世界能力的重要标志。从广义上讲,测量本身是一种实验方法,也是通过实验,对客观事物取得定量意义(或叫信息)的过程。事实上,这种过程就是把待测量直接或间接地与另一同类的已知量进行比较,用已知量作为计量单位,求得待测量的过程。人们通过测量可以建立对客观事物属性量度的认识,并可通过对测量结果数据进行必要的归纳和演绎,从中找到客观事物的演变规律,提出科学的理论。因此,有名言:“测量是科学进步的阶梯”,“没有测量,就没有科学”。

0.1.2 计量

计量是一种建立标准量度的测量过程。我们知道,任何一种测量都必须采用同一种标准单位量来比对才会有意义,这种用作计值单位的量称为计量标准。常规的计量标准有真值、基准量和实际值三种。

1. 真值

真值是一种用理论定义的计量标准值。例如,理论安培是电流的计量标准单位量,它的定义是真空中相距 1 m 的两条无限小圆柱截面的平行导线,能在此二线间产生 2×10^{-7} N/m 互相作用的恒定电流的大小。显然,真值实际上是不可知的,我们只能无限逼近它。

2. 基准量

基准量是由国家建立的各种尽可能维持恒定不变的实物标准,以法令的形式指定以它所体现的量值作为计量单位的指定值。例如,国家计量局保存的铂银合金圆柱体 kg 原器的质量为 1 kg 基准量。各国之间通过相互比对来保持国际间一定程度内的相互一致。事实上,原器的标准量也是会随时间变化的,从现代科学观点来看,最好的标准是原子标准。原子是一种基本的物理单位,它具有确定的物理属性,这些属性是不会随时间变化的,不会失传、变质。因此,从 70 年代开始,国际计量大会以此统一定义了国际基本单位,命名为国际单位制,代号是 SI。

3. 实际值

对日常工作的仪器和量具,由于数量极大,遍布各地,不可能都一一和国家基准进行比对。所以,国家还要设立一系列的各级实物计量标准,构成一个各种量值的传递网,把国家基准所体现的计量单位,通过逐级比较传递到日常工作仪器或量具上去。在每次比较中,都以上一级的标准所体现的值当作是正确无误的,称为实际值。显然,下级标准的实际值,由于传递、比对的误差等原因,只能是上级标准的某种程度的近似。

研究测量,保证测量统一和准确的科学称为“计量学”。计量工作的主要任务是在全国乃至全世界范围内统一计量单位,确保量值的一致和准确,要研究、建立、保存和维护各种计量单位的国家基准和各级标准,组织并实行计量单位的传递。

计量工作还包括检定。所谓检定,就是评定计量器具(仪器、量具、装置)的计量性能并确定其是否合格而进行的测量。检定工作是国家各级计量机关的任务,按照国家法定的程序,定期对各级各类测量标准进行检定,行使行政管理权。只有合格的测量标准才具有法律效力。

0.1.3 检测

检测一般指现代自动化大生产中为确保产品质量对生产流程中某些物理量值和工艺质量进行的监控性测量过程。检测技术就是要研究那些被监测的非电物理对象如何变换成一般计量测试仪器所能测量到的电量参数,并经过校准换算使之变为被测对象应有的单位量值。在这一过程中工艺规范和质量标准的建立是十分重要的,没有规范和标准的检测是无意义的。检测也可以指那些对成品质量实行抽样检查而进行的测量过程。

0.1.4 测试

测试的概念说法不一,一般泛指生产和科学实验中经常进行的满足一定准确度要求的试验性测量过程。“测试”与“测量”、“检测”在理解上稍有区别:

(1) 测试可指那些试验研究性质的测量过程,这种测量一般没有建立正式的计量标准,我们只能用一些有意义的参数和方法去“测评”被测对象的状态、性能或能力。这种“测评”是无法计量的,只能是试验性质的,这种测评过程一般只能称为测试。例如,我们对一个人能力的考查,只能用有某种公认水准的题目或项目来考查他,看他能否应答自如或高质量完成,这就是一种测试过程。

在研究规则信号时,它的振幅和频率都是可以计量的,但对不规则信号,人们只用频谱分析的方法来确定其性质,这种过程也称为测试。

(2) 测试也可指只着眼于定性而不重定量的测量过程,例如,逻辑电路中对逻辑电平的测量,我们只着重判别测试点逻辑电平的高低,逻辑状态是否正确,而不去追求该电平的精确量值。这种只求定性,不求精确定量的测量过程也称为测试过程。

(3) 测试也可以指试验和测量的全过程,这种过程既是定量的,也是定性的。在这种情况下,可以把测试理解为一种手段或过程,其目的在于鉴别被测对象的性质和特征。例如,一般对各种产品的鉴定工作就是一种既定量又定性的测试过程。

(4) 在生产流程和成品鉴定中的检测过程,从过程的作用和意义来讲实际上也是一种测试过程。

0.2 测试系统的组成和特性

测试是一种具有更加广泛意义的测量过程。人们通过测试可以取得研究对象的有关信息,能够正确地了解被测物理对象的量值或特性。测试技术就是要研究和探索对各种被测对象实现这种测量过程的途径和方法。事实上,凡是需要研究某种客观事物和现象时,在要希望弄清被研究对象的状态、变化和特性并对其进行一定的定量描述和定性说明时都离不开测试技术。

0.2.1 测试系统的组成

图0-1示出了一种传统测试系统的组成方法。可以看出,一个典型的传统测试系统常由试验装置、测量部件、数据处理和输出设备等几部分组成。试验装置是一种使被测对象处于预期待测状态的专门设备,它的作用在于充分暴露被测对象的内在特性以便进行有效的测量。常见的激振器就是一种试验装置。测量部件由传感器、信号测量电路或测量仪器组成。被测对象在一定的激励下,它的各种物理性能的变化经传感器完成由非电量到电量的转换,再经测量电路或仪器对被测信号进行切换、滤波、放大和标定,完成对被测信号的测量。测试结果的输出形式也是多样的,或用指示仪表指示出来,或用记录仪记录,还可传送给数据处理器作进一步处理运算或求谱分析,使之变成后续设备所需要的输入信号,最终被显示或打印,也可绘图。

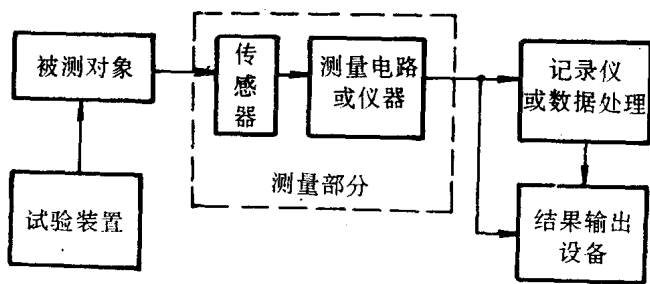


图0-1 常规测量系统的组成

再经测量电路或仪器对被测信号进行切换、滤波、放大和标定,完成对被测信号的测量。测试结果的输出形式也是多样的,或用指示仪表指示出来,或用记录仪记录,还可传送给数据处理器作进一步处理运算或求谱分析,使之变成后续设备所需要的输入信号,最终被显示或打印,也可绘图。

我们的测试工作就是要根据不同的测试对象,选择适当的传感器,设计或选择有效而准确的中间变换电路、测量仪器和信号处理部件,以最方便、科学的形式把测试结果显示出来。

0.2.2 测试系统的特性描述

测试系统特性描述分系统质量指标、系统的静态特性和系统动态特性三个方面。

一、测试系统的质量指标

一个测试系统的性能常用以下几种质量指标来描述:

(1) 准确度。测试系统的准确度(或称精度)用来表示测试结果值与被测量真值的一致程度,它的定义方法与电子测量是一致的。准确度往往可用测量误差的大小来表示。

(2) 分辨率。指测试系统能检测到的输入信号的最小变化的能力,可用数值量或灵敏量程的百分数来表示。

(3) 测试范围。指系统中测量电路或仪器能够正常工作的被测量的量值范围。在讨论测试范围时必须注意系统的工作频率范围。

二、测试系统的静态特性描述

在静态测试中,系统的输入输出关系与时间无关。理想系统的静态特性可用如下表达式表示:

$$y = ax + b \quad (0-1)$$

由于系统实际情况并非如(0-1)式表示的那样理想,因此系统的静态特性可以用直线性、灵敏度、滞后量(差)三种参数来描述。

(1) 直线性。它一般指系统的输入输出关系接近理想线性关系的程度。

(2) 灵敏度。它用来表示测试系统的输入输出之间量值比例的对应关系。常有两种表示方法:

① 用测试系统的输入与输出信号的变化量之比来表示。

$$\text{灵敏度}(s) = \frac{\text{输出信号变化量}}{\text{输入信号变化量}} \quad (0-2)$$

例如,某温度测试系统,每当被测温度变化 1°C 时,系统输出电压变化 100 mV ,则可知系统的灵敏度为 $100\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

② 有时为了理解方便,灵敏度也可用测试系统或仪表的输出指示刻度每变化一分度所对应的输入信号变化量来表示:

$$\text{灵敏度}(s) = \frac{\text{输入信号的变化量}}{\text{输出指示刻度的变化量}} \quad (0-3)$$

例如,用示波器观测信号时,输入信号为 3.2 V ,在示波器屏幕上显示的波形偏转了 6.4 div ,这时示波器的偏转灵敏度为 0.5 V/div 。在这种情况下,测试另一个信号,显示了 5 div ,按 0.5 V/div 灵敏度计,就可估算出该信号为 2.5 V 。这种定义方法所得结果与第一种恰好是互为倒数,因此有时也称为“传输因数”(r)。由于它与电流表灵敏度的估算方法是一致的,将它称为“测试灵敏度”比较容易理解,用起来也方便,人们也就直呼它为仪器的测试灵敏度了。

(3) 滞后量。滞后量也称滞后差,表示系统的输入信号有正反方向变化时,测试系统的输出呈现的非重合结果误差。在整个测试范围内,当系统输入发生相反方向变化时,在同一个输入点上输出非重合的最大差值称为系统的滞后量。

三、测试系统的动态特性描述

系统的动态特性反映了系统对被测时间信号的响应能力,一般用系统的传递函数来表示。

$$H(s) = \frac{b_ms_m + b_{m-1}s_{m-1} + \cdots + b_1s_1 + b_0}{a_ns_n + a_{n-1}s_{n-1} + \cdots + a_1s_1 + a_0} \quad (0-4)$$

在实际中,稳态系统的动态特性常用幅频特性(即波特图)来表示,而对暂态系统则要用系统的暂态响应函数来表示。常见的多为一阶或二阶系统。

0.3 基本测试技术的分类

对一个具体的测试过程来讲,被测对象不同,测试方法也各不相同。归纳起来基本测试技术可分频域测试、时域测试、数据域测试和统计域测试四类。

0.3.1 频域测试

频域测试是从频率组成和频率响应特性的角度来分析被测信号或系统特征的。在这种情况下,可以不考虑时间因素,整个测试过程与时间无关,也即这种测试过程是在被测对象处于稳态的情况下进行的。由此,频域测试又称为稳态测试。常见的频域测试有网络分析和信号频谱分析两种情况。

网络分析用于研究一个被测系统的频率响应特性,以便判别该系统的性能。常用正弦信号作为激励测试信号,在所关心的频率范围内测出被测网络的频率响应特性(如图 0-2 所示)。根据测试结果,再分析它与测试信号的关系,求得被测网络系统的传递函数。在自动网络分析仪中还可根据传递函数的幅频相频特性进一步推算出最大传递系数、中心频率、-3 dB 带宽、-20 dB 带宽、阻带抑制比以及群延迟时间及其波动等网络参数。

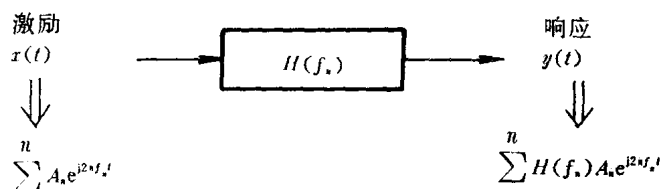


图 0-2 网络传递函数分析

信号的频谱分析是频域测试的另一个内容。它用于研究被测信号的频率组成和它的分布,从而可以判断被测信号的性质或态势。实现信号频谱分析的方法有多滤波器实时分析法和超外差式扫频频谱分析法两种。在自动频谱分析仪中常采用后一种方法。图 0-3 是 HP3585A 型自动频谱分析仪的原理框图。图中本地振荡器产生宽频段的扫频信号,用它和被测信号进行混频产生固定的中频信号。由于扫频信号由低频扫到高频,被测信号中的各种频率分量将相继与它混频产生这个中频信号,经仪器内计算机适当处理运算之后就可获得相应的频谱数据,再由显示器或 XY 绘图仪显示或描绘出频谱图来。为了精确显示被测信号中各频率分量的频率具体数值,仪器中还专门设置了一个跟踪信号发生器。它的频率将严格跟踪本振频率,并进行精确计数。同时还和被测信号混频产生频标,这样,被测信号中的各种频率分量就可得到精确测定。

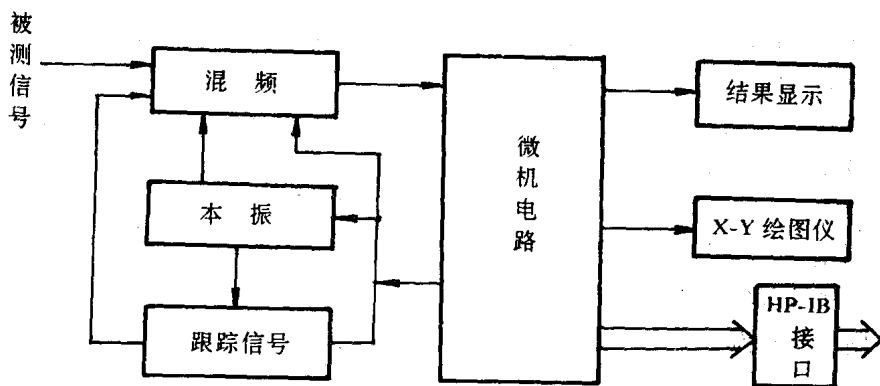


图 0-3 HP3585A 频谱分析仪结构示意图

0.3.2 时域测试

时域测试也称脉冲测试,用于实现对信号波形的观测和对系统瞬态特性的研究,观测被测信号的时间变化过程。因此,时域测试也可称作瞬态测试。常见的时域测试仪器有示波器、波形记录仪、存贮示波器等。

事实上,时域测试和频域测试是研究同一过程的两种方法,它们是可以互译的。在现代自动测试仪器中,可以通过一定的算法直接将时域测试结果推演出频谱分析的结论来。

0.3.3 统计域测试

在近代测试技术中,许多研究对象具有不确定性,常称随机信号,统计测试是研究这种随机信号的重要方法。它包括以下三个方面:

(1) 对各种不确定信号的统计特性进行测量。

(2) 用具有特定统计规律的随机信号作测试激励信号,通过对系统响应的统计测试,实现对被测系统的统计特性研究。

(3) 用于实现对被噪声污染的信号进行精确的检测。

我们知道,描述随机过程统计特性的主要参数有以下几种:

① 均值 $E[x]$

$$E[x] = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x)dx \quad (0-5)$$

② 均方值 $E[x^2]$

$$E[x^2] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x)dx \quad (0-6)$$

③ 标准偏差 σ 和方差 σ^2

$$\sigma^2 = E[(x - E(x))^2] = E[x^2] - (E[x])^2 \quad (0-7)$$

④ 自相关函数 $R_x(\tau)$

$$R_x(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)] \quad (0-8)$$

⑤ 谱密度函数 $S_x(\omega)$, 它是 $R_x(\tau)$ 的傅里叶变换

$$S_x(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_x(\tau)e^{-j\omega\tau}d\tau \quad (0-9)$$

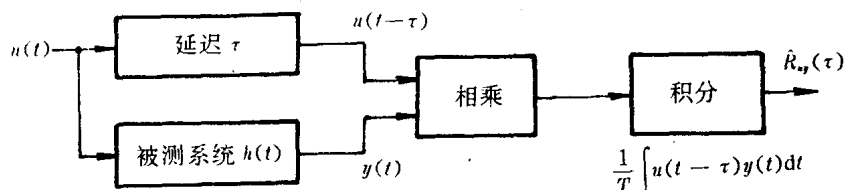
实际统计测试过程中求平均的时间总是有限的,因此只能测得以上参数的估算值,会给测试结果带来误差。而且,由于测试对象是随机的,故统计特性的估值误差也是随机的。按统计误差理论分析,如果被测随机过程是正态分布的,则在所有可能的测试结果中有68%的测量误差将小于一个 σ 值;95%的测量误差总是小于 2σ 。显然,测量次数愈多,随机误差就愈小。

随机测试技术所用激励信号有两种形式,在进行系统的动态测试或对系统工作性能进行估测时,常用白噪声作测试信号。图0-4是用测试系统相关函数来估计系统冲击响应的流程。若图中 $u(t)$ 为白噪声,由于它具有无限宽平直的频谱,所测相关函数为

$$\hat{R}_{xy} = \frac{1}{2} G_u(0) h(\tau) \quad (0-10)$$

式中 $G_u(0)$ 是白噪声的功率谱密度。可见系统的冲击响应 $h(\tau)$ 与 $\hat{R}_{xy}$ 成正比关系,只要测出

$\hat{R}_{xy}(\tau)$, 就不难求得 $h(\tau)$ 。



统计测试还可利用伪随机信号作测试信号。它是一组由计算机直接产生的二进制数字序列，具有与随机信号一样的频谱和高斯概率分布特性，只要将统计测试的时间间隔取值为测试信号周期的整数倍，则测试结果不会出现统计误差。因此它在近代测试技术中被广泛采用。

0.3.4 数据域测试

在数字技术和计算机技术设备中都是以数字信号来传递和处理信息的。在它们的设计、调试以及一旦出现故障而必须开机检查时，人们所感兴趣和关心的是如何获取各种必要的数字信息（地址信息、数据信息和各种控制信息），希望在观测这些信息的同时能完成故障的诊断和判别。在这种情况下，一般传统测试仪器已无法胜任了，于是逻辑分析仪、功能自动测试诊断仪等数字测试仪器就应运而生。由于数字系统中的信号具有以下特征：

(1) 数字信号几乎都是多位传输且用逻辑状态 0, 1 来表示其每位信息特征的，它与信号波形本身的形状关系不大；

(2) 大部分数字信号是非周期性的，许多情况下仅发生一次；

(3) 需要测试或检查的错误信息常混杂在正常的数据流中，

所以，对数据域测试仪器提出了特殊的要求。例如它应该具有多通道同时测试的能力和具有自动跟踪数据流的能力；要用特殊的触发工作方式捕捉那些我们感兴趣的数据信息；测试结果要用多踪显示方式显示出来等等。图 0-5 画出了一种典型数字测试仪器——逻辑分析仪的简化原理图。它由数据获取和数据显示两部分电路组成，前者用来获取并存储所要观测的数据，后者则用于以多种形式把观测到的数据显示出来。这里的关键技术是“触发”。在这类仪器中，“触发”的作用是要在被分析的数据流中搜索到那些根据需要而设

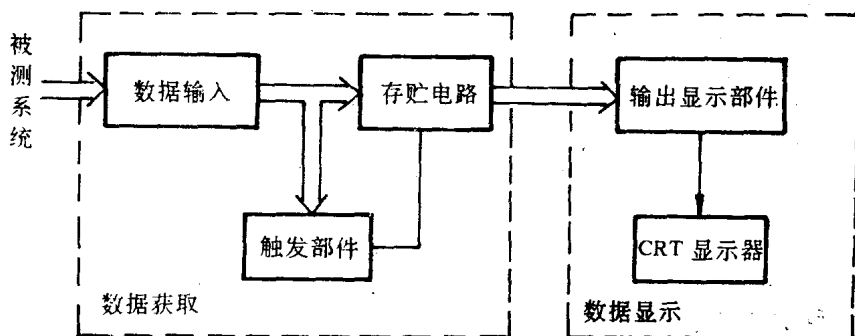


图 0-5 逻辑分析仪原理

置的参考数据即所谓“触发字”。一旦发现这些触发字，便可产生相应的触发信号去控制对有效数据的存贮过程。因此，这种触发方式可以正确地确定观测数据窗口在数据流中的位置。

随着大规模集成技术的迅速发展，LSI、VLSI 器件及其系统的功能测试和故障诊断已变得十分复杂，用一般简单的测试手段已无法胜任这类测试了，对复杂数字系统测试算法的研究已成为当代测试工作者的一项重要任务。

0.4 测试技术的自动化

近代科学技术的迅速发展使生产效率愈来愈高，科学研究也愈来愈深入和复杂。在大规模生产和科学研究中，要求测试的项目和研究的问题也愈来愈多和复杂，不但工作量大，而且要求高，还常伴随着大量的数据处理和统计运算的工作。在这种情况下，靠人工或功能简单的仪器测试已经无法适应这种形势的发展了，自然提出了测试技术的自动化问题。计算机技术、实时采样技术、频率合成技术的发展和成熟给自动测试技术奠定了良好的基础。近代检测技术、传感器技术、显示技术、数据传输和处理技术以及大规模集成电路技术的发展，尤其是单片计算机技术和计算机科学的飞速发展和成就，为测试技术的自动化提供了必要的技术条件和手段。

0.4.1 自动测试系统的组成

所谓自动测试，就是对研究对象的整个测试过程包括数据采集、数据分析处理以及测试结果的显示输出等等都是在计算机统一控制下自动完成的。而实现某种测试任务的自动测试设备的总体就称为“自动测试系统”，简称 ATS(Automated Test System)。图 0-6 示出了一种典型的自动测试系统的组成框图。这里，实现测试过程的一切操作都是在计算机控制下自动完成的，人的作用仅限于编制必要的测试程序或做一些必要的操作，如开机，接插被测件等等，极为简单。

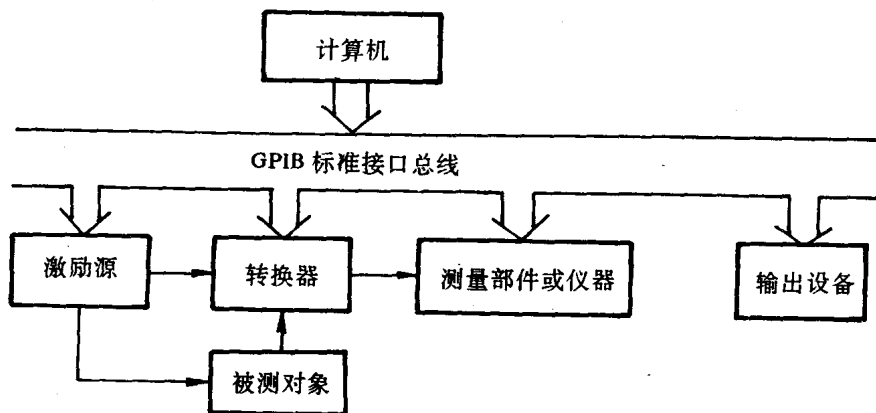


图 0-6 自动测试系统的组成

0.4.2 自动测试系统的工作模式

实际上，自动测试系统是自动测试技术设备的总体概念，它包括硬设备和软设备，系

统也可大可小。小的自动测试系统可以仅由一台智能测试仪器组成，它可以通过标准接口与其它测试设备进行联接。大的系统可以由一台计算机控制下的许多台自动测试仪器组成设备系统。不论哪种情况，自动测试系统的工作模式都是大体相同的，这就是：

(1) 用传感器将电的或非电的被测物理量转换成电量或电信号，进而进行必要的放大和预处理，使之达到自动测试仪器所能接受的水平。

(2) 实现对被测信号的自动采集和数据处理。

(3) 按规定的方式对测试结果作出必要的判别和反馈，并能将测试结果自动显示出来，有的仪器还能自报结果。

(4) 系统具有必要的自检能力。

(5) 有标准接口，可随时参与组建成规模更大的测试系统。

自动测试技术与仪器设计就是要研究可以实现自动测试任务的各种测量技术和自动测试仪器及其系统的设计和组建方法。

0.5 自动测试技术的发展

自动测试技术创始于 50 年代。有一个研究计划，它的最终目标是不必依靠任何有关的测试技术文件，由非熟练人员上机进行几乎是全自动的操作，以电子计算机的速度完成各种必要的测试项目。通过灵活的程序编制，也可以适应任何其它具体的测试问题。在当时条件下该计划虽然花费了可观的经费，最终也远没有达到预期的目标。但是，自动测试技术的思想却很快为广大测试技术工作者所接受。不久，这项技术就获得了惊人的发展。到了 60 年代末，市场就有了成套的自动测试系统。到 70 年代，出现了仪器仪表与计算机融为一体的智能化仪器。今天，各种仪器功能卡应用于微型计算机，使之成为计算机及仪器兼容的微型计算机仪器，又称“PC 仪器”或“个人仪器”。在 PC 仪器中，许多复杂的仪器功能及仪器操作“面板”都是用软件实现的，因此它又称为“虚拟仪器”。

从自动测试技术发展过程看，从 50 年代至今大致经历了以下几个发展阶段。

0.5.1 初级自动测试仪器

从第一代自动测试系统开始就采用了计算机技术，主要用来进行逻辑定时控制。由于它没有标准接口，技术比较复杂，只能用于大量的要求重复、快速、高可靠和对人员健康有害又难于接近的测试场合。这种自动测试技术初级产品的主要功能是进行数据自动采集和自动分析，用它完成大量重复的测试工作，承担繁重的数据运算和分析任务，以便快速准确地获得测试结果。起初这类设备没有通用接口，它们多数是专用的。后来，为了系统组建方便，提出了自动测试系统中的仪器都应配置标准化的通用仪器接口，能进行系统连接的主张。这样就可以把任何一个厂家生产的任何型号的自动测试仪器，都能用同一种标准总线连接成为一个自动测试系统。这个主张首先是由美国 HP 公司提出的。1975 年美国 IEEE 正式颁布了 IEEE Std 488—1975 标准，后为 IEC 定为国际标准，名为 IEC 625 标准。这项技术很快为世界许多仪器制造厂家所采用。

0.5.2 智能仪器仪表

随着微电子技术的迅速发展,微处理器、单片计算机开始推广应用,人们开始用微处理器来设计仪器仪表。由于微处理器和单片计算机具有强大的数据运算能力和数据处理能力,因此,这种新型的仪器无论在性能和综合测试能力方面都比传统仪器仪表强得多。有些用传统仪器无法测试的参数或需要人工运算才能得到的结果,现在可以借助计算机的推演运算直接得到。因此人们常称这类新型仪表为“智能仪器”或“智能仪表”。这种仪器一般都配有标准接口,可以参与自动测试系统的组建。图 0-7 示出了它的组成原理图,图中测量系统一般指信号放大器和调理器。ADC 部件将被测模拟量转换成数字量。计算机将测量得到的数据经过必要的处理运算之后,就可以通过输出部件将结果显示出来。智能仪器的所有功能操作都是通过键盘实现的,这也是它区别于一般传统仪器的主要特点之一。近年来已有人将语音技术应用于智能仪器,实现了测量结果的自报。

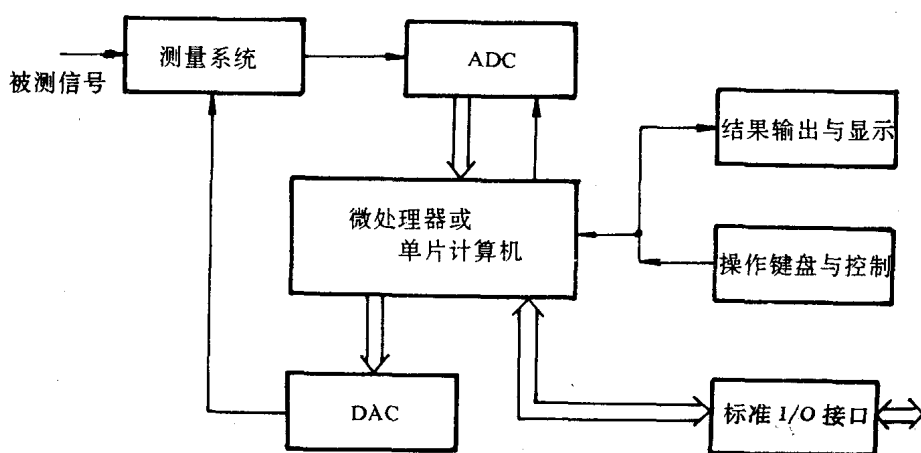


图 0-7 智能仪器的基本组成

0.5.3 虚拟仪器

计算机技术的发展和普及,人们开始用 PC 机来开发新一代的自动测试系统,这就是个人仪器/PC 测量系统(Personal Instrument/Personal Instrumentation System)。也称“PC 仪器”或“虚拟仪器”。

图 0-8 所示是 PC 仪器的一种基本组建方法。它是把具有测量功能的模块或仪器卡直接与个人计算机的系统总线联接而成的。联接时既可以插在 PC 机内接口槽上,也可插在计算机外部专用的仪器板卡架上或专用机箱内。PC 仪器的各种测量功能都是由磁盘中的常驻测量程序来实现的。

用个人仪器组建的自动测试系统,可以去掉一些不必要的硬件,充分利用个人计算机的软硬件资源。这种情况下,不同功能的仪器仅体现于测量模块及其软件的不同,仪器不再以传统的独立形态出现了,仪器效益极高。一台计算机只要配备相应的测量模板或扩展机箱,就可立即成为存储示波器、频谱分析仪、逻辑分析仪、数字多用表、通用计数器、函数发生器或 GPIB 仪器控制器等等。因此个人仪器的开发是当代仪器技术的又一重大进步。