

国防科技大学“十二五”研究生重点教材

数字化测试技术

□ 苏绍璟 主编

Shuzihua Ceshi Jishu



国防工业出版社
National Defense Industry Press

国防科技大学“十二五”研究生重点教材

数字化测试技术

苏绍璟 主 编

郭晓俊 张羿猛 黄芝平 刘纯武 左 震 编 著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书系统地讲述了数字化测试技术的基本概念、方法与关键技术问题。内容包括数字化测试技术的基本概念,起源、发展与特点,数字化测试系统组建的基本框架和测试的实施过程,经典数字信号处理方法在测试系统中的具体实现和物理意义,现代数据采集技术中的关键数字器件特性与数据采集新技术、新方法,数字信号处理器(DSP)系统的设计方法和开发流程,现场可编程门阵列(FPGA)在数字化测试系统中的应用,以及数字化测试系统的设计准则、实现方法、调试方法及关键技术问题的处理方法。另外,在书中相应的章节还选取了一些典型的工程实例和设计制作,以帮助读者深入具体地理解原理内涵和技术本质。

本书的使用对象主要是仪器科学与技术学科的硕士研究生,对应于仪器科学与技术系列课程中的核心课程,也可作为机械测试、自动化检测、航空航天测试、兵器测试等相关研究方向研究生的选修教材。本书的作用是帮助学生将所学的测试理论和方法与具体工程技术和项目实施紧密联系起来,培养学生具备使用数字信号处理器和高级数字电路实现数据采集和实时处理的能力。本书的任务主要是让学生明确数字化测试的内涵,掌握关键技术,熟悉设计、制作、调试数字化测试系统并实现测试功能的基本方法。

图书在版编目(CIP)数据

数字化测试技术/苏绍璟主编. —北京:国防工业出版社,
2015.1

国防科技大学“十二五”研究生重点教材
ISBN 978-7-118-09809-9

I. ①数... II. ①苏... III. ①数字信号处理—测试
方法—研究生—教材 IV. ①TN911.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 268402 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 $\frac{3}{4}$ 字数 613 千字

2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 75.00 元

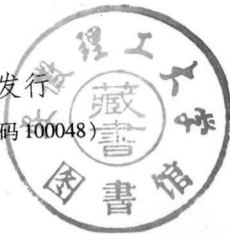
(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行传真:(010)88540755

发行邮购:(010)88540776

发行业务:(010)88540717



前 言

正如尼葛洛·庞帝在二十世纪 90 年代《数字化生存》一书中所预料的二十一世纪,伴随数字化技术的日新月异,测试领域也同样从模拟世界全面转向数字化。

我们把以数据采集为基础,以数字传输为纽带,以计算机处理获得测试结果的技术统称为数字化测试技术。复杂或密集型数字运算是数字化测试技术的主要特征之一。这样,数字信号处理器(DSP)在现代测控系统中的普遍应用就成了历史的必然。数字化测试技术具有如下的鲜明技术特点:

(1) 数字化测试系统的典型结构是:ADC + CPU + 仪器接口 + 其他。其中 DSP 是 CPU 的典型代表,仪器接口是通用通信技术的缩影或扩展。

(2) 数字化测试技术稳定、可靠、精确。

(3) 智能化与网络化成为必然。因此,测量、控制、通信、计算机(MC³)一体化成为一种必然的信息系统形态。也正因为如此,在仪器科学与技术深层次发展的同时,传统的仪器形态在消亡,使现在的技术人员越来越看不清仪器科学与技术学科边界。

本书作为测试类专业研究生的教学用书或相关专业的工程型参考书籍,应该包括数字化测试基本理论和方法、现代数据采集技术、数字信号处理器开发、现场可编程器件和计算机接口技术等知识模块。笔者从 2003 年开始,从事仪器科学与技术学科的研究生核心课程“数字化测试技术”的讲授工作,至今已经是第 12 个年头。在授课的过程中,苦于没有一本涵盖以上主要知识模块的参考书,大多参考书只是罗列了部分相关知识,只适合本科生层次使用,甚至有些书籍只是翻译了某具体型号数字信号处理器的数据和开发手册。鉴于以上原因,既不能满足研究生教学需求,也不能作为高级数字电路设计者的工程参考使用,因此笔者将众多最新的数字测试技术内容有机地组合在一起,并且编写了具有高度密集知识点和丰富应用案例的研究生教材。

全书共分 6 章。第 1 章绪论,概述数字化测试技术的基本概念、起源、发展与特点,并介绍数字化测试系统组建的基本框架和测试的实施过程,重点介绍测试中激励信号(信号源)的产生,以及与被测对象紧密相关的测试信号接口的设计方法。第 2 章数字化测试理论与技术基础,简要回顾若干经典数字信号处理方法,重点阐述经典理论在测试系统中的工程实现和计算的物理意义,包括归一化频谱和采样之间的关系、数值计算对频谱分析的影响、滤波器参数的设定、长时间测试序列数字滤波的实现、动态测试、实时处理、自适应处理的基本原理和方法。第 3 章现代数据采集技术及应用,论述数字化测试中数据采集策略和方案的选择及其依据;分析数据采集系统结构组成,详细分析前端调理、定时与控制、模/数转换、触发与同步、缓存存储、检验标定等各单元模块的工作

原理;介绍新型 ADC 器件的技术特点,分析各类存储结构地址管理方法的差异和特点;介绍欠采样、带通采样、等效采样、过采样理论和方法。结合国防工程和军事应用案例,重点讲解大容量高速数据断续采集、连续无间断采集和超高速瞬态信号捕获等特殊任务的实现方法。使读者了解以上任务中数据收发和数据流管理的技术难点和问题,掌握高速、大容量数据流的管理关键技术。第4章 DSP 系统设计与应用,简要介绍 DSP 发展历史和趋势,分析哈佛总线、流水线总线、寻址方式等适合高速数字信号处理的结构特点。讲解 DSP 内核核心部件的构成和程序进程的管理机制,讲解定点、小数、浮点数据格式和各自的运算特点,使学生关注各类寄存器在 DSP 使用过程中的特殊地位,掌握 DSP 核心系统的构建,包括系统接口、存储器设计、中断、堆栈和程序流程设计,熟悉 DSP 开发过程,分清 Simulator 和 Emulator 的区别,掌握主流 DSP 开发产品套件的工作原理和使用过程。第5章数字化测试系统 EDA 设计,讲解可编程器件在测试系统设计中的应用,介绍可编程逻辑器件的历史发展,介绍主流大容量高速可编程器件特点。主要讲解 FPGA 的工作原理、设计准则、VHDL 硬件描述语言程序设计、合成优化、仿真调试及测试系统的 PCB 设计。第6章测试信号接入、传输与总线技术,介绍测试信号接入技术基本概念与方法;有线传输与接入技术;无线传输与接入技术;光纤与红外传输技术;工程遥测技术及其在兵器试验中的应用;总线支持技术概述;总线技术分类与评述;现场总线技术及其在工业测控中的应用;USB 总线、Fire Wire 总线和其他总线测控系统平台简介与应用。

本书的特色在于,结合了大量电子技术、数字技术和信息技术的成果,并且紧密联系测试这个背景,将所有知识点按信息获取、处理的流水线顺序有机地组合在一起,在有限的篇幅里面,集中给学生展示目前国际上最先进的数字测试理论和方法,介绍最新的发展趋势和研究热点,并且重点让学生掌握每项内容的基本原理和关键技术,而且适度地了解一些方法和技术的细节。从而使学生在宏观上、系统的角度理解数字化测试系统的组成和工作原理,并掌握系统设计的关键技术。具体到每一个环节的技术细节和开发方法,学生还必须结合专门的实验、实践环节,才能最终完成实际数字化测试系统的组建。本书将有助于学生在研究生课程学习结束后迅速转入实际的工程课题研究。

由于作者水平有限,书中难免有遗憾和谬误之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2014年4月于长沙

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.1.1 数字化测试技术的基本概念	1
1.1.2 数字化测试技术的重要地位	2
1.1.3 数字化测试技术的起源和发展	4
1.1.4 数字测试仪表的特点	6
1.2 数字化测试技术的现状和发展趋势	6
1.2.1 现状	6
1.2.2 数字化测试技术的发展趋势	8
1.3 数字化测试系统组建的基本框架	12
1.4 数字化测试技术涉及的核心问题	13
1.4.1 测试中激励信号(信号源)的产生	13
1.4.2 被测信号数字化处理	15
1.5 与被测对象相关的测试信号接口	16
1.5.1 总线和接口简述	16
1.5.2 接口标准分类	17
1.5.3 测试仪器的主要通信接口	17
习题	22
参考文献	22
第2章 数字化测试理论与技术基础	23
2.1 归一化频谱与测试采样	23
2.1.1 信号	23
2.1.2 信号的基本运算	26
2.1.3 连续时间信号采样	28
2.1.4 系统	30
2.2 数字频谱在测试中的应用	32
2.2.1 傅里叶表示	32
2.2.2 卷积	43
2.2.3 快速离散傅里叶变换	46
2.3 数字滤波在测试中的应用	54

2.3.1	简介	54
2.3.2	IIR 的设计方法	55
2.3.3	FIR 设计	64
2.3.4	滤波器的使用	70
2.3.5	信号滤波技术	72
2.4	测试中的实时信号处理	82
2.4.1	信号分析与处理问题概述	82
2.4.2	动态信号的时域参数提取	82
2.4.3	动态信号的频谱分析	94
2.5	测试中的自适应信号处理	103
	习题	105
	参考文献	106
第3章	现代数据采集技术及应用	107
3.1	数据采集技术综述	107
3.2	现代数据采集系统	108
3.2.1	概述	108
3.2.2	数据采集原理	109
3.2.3	数据采集系统结构组成	114
3.2.4	数据采集系统的主要性能指标	118
3.2.5	数据采集系统的发展方向	120
3.3	测试信号模拟前端	121
3.3.1	模拟前端的结构组成	121
3.3.2	传感器技术	122
3.3.3	隔离电路	124
3.3.4	模拟多路开关	126
3.3.5	测量放大器	128
3.3.6	模拟滤波器	131
3.4	现代模/数(A/D)转换器	132
3.4.1	A/D 转换器分类	133
3.4.2	几种典型 A/D 转换器的原理和特点	133
3.4.3	评价 A/D 转换器性能的关键指标	138
3.4.4	A/D 转换器的选择和使用	141
3.4.5	A/D 转换器与 CPU 的接口设计问题	143
3.5	存储系统	145
3.5.1	存储器概述	145
3.5.2	半导体存储器	148
3.5.3	存储器与 CPU 的连接	150

3.5.4	缓存系统	151
3.6	触发与同步系统	153
3.6.1	触发系统	153
3.6.2	时钟与同步系统	155
3.7	测试结果的显示	156
3.7.1	数据显示的方式	156
3.7.2	数字存储示波器波形的显示	158
3.8	采集策略和应用	161
3.8.1	数据采集系统中的一些重要概念	161
3.8.2	断续采集	166
3.8.3	连续无间断采集	167
3.8.4	特征瞬时信号的捕获	168
3.9	欠采样理论	172
3.10	带通采样理论和应用	173
3.10.1	带通采样理论	173
3.10.2	软件无线电基础理论	174
3.10.3	带通采样在软件无线电中的应用	178
3.11	等效采样理论和应用	180
3.11.1	等效采样理论	180
3.11.2	等效采样的应用	183
3.12	过采样理论和应用	183
3.12.1	过采样理论	183
3.12.2	过采样理论的应用	185
3.13	数据采集系统举例	185
	习题	188
	参考文献	189
第4章	DSP 系统设计与应用	190
4.1	数字信号处理技术	190
4.1.1	数字信号处理技术的发展	190
4.1.2	数字信号处理技术的实现方法	191
4.2	数字信号处理器	192
4.2.1	DSP 特点和优势	192
4.2.2	DSP 的发展及趋势	201
4.2.3	DSP 的分类	204
4.2.4	DSP 的选择	205
4.2.5	DSP 的应用领域	208
4.3	DSP 内核	209

4.3.1	总线结构	209
4.3.2	算术逻辑单元	210
4.3.3	乘法累加器(MAC)	213
4.3.4	桶形移位器(Shiner)	218
4.3.5	数据地址产生器(DAG)	219
4.3.6	程序控制器	223
4.4	DSP 的最小系统设计	226
4.4.1	电源电路	226
4.4.2	时钟电路	229
4.4.3	复位电路	230
4.4.4	JTAG 电路	230
4.5	DSP 存储体设计	231
4.5.1	DSP 芯片的存储器	231
4.5.2	定点 DSP 芯片存储区的组织	232
4.5.3	浮点 DSP 芯片存储区的组织	236
4.6	DSP 的外设	242
4.6.1	定时器	242
4.6.2	DMA 控制器	245
4.6.3	接口模块概述	250
4.6.4	串口	251
4.6.5	主机接口	257
4.7	DSP 的中断系统设计	261
4.7.1	DSP 中断概述	262
4.7.2	中断响应控制	264
4.7.3	中断矢量	264
4.7.4	中断处理过程	264
4.7.5	中断程序实现(ISR)	266
4.7.6	使用中断的注意事项	266
4.8	DSP 系统的开发	267
4.8.1	DSP 系统概述	267
4.8.2	DSP 系统的开发流程和仿真调试手段	268
4.8.3	DSP 的硬件开发	275
4.8.4	DSP 的软件开发	282
4.9	DSP 程序的引导	288
4.9.1	引导概述	288
4.9.2	引导的分类	289
4.9.3	引导的方式	291

4.9.4	引导表的结构和生成方法	293
4.9.5	二次引导	294
4.10	DSP 典型测试系统应用实例	294
4.10.1	引言	295
4.10.2	硬件设计	295
4.10.3	DSP 串口通信例程设计	296
4.10.4	微机端串口通信程序设计	297
4.10.5	应用软件设计及应用实例	298
4.10.6	结语	300
	习题	300
	参考文献	301
第 5 章	数字化测试系统 EDA 设计	302
5.1	EDA 设计基础	302
5.1.1	EDA 简介	302
5.1.2	PLD 概述	303
5.1.3	FPGA 与 CPLD	304
5.1.4	EDA 软件简介	306
5.2	FPGA 基础	308
5.2.1	FPGA 简介	308
5.2.2	FPGA 的基本结构	308
5.2.3	FPGA 的特点、应用及发展趋势	312
5.3	VHDL 语言和软件设计	314
5.3.1	VHDL 概述	314
5.3.2	VHDL 程序结构	314
5.3.3	VHDL 语言要素	321
5.3.4	VHDL 描述语句	325
5.4	FPGA 的程序设计和输入	329
5.4.1	FPGA 设计概述	329
5.4.2	FPGA 设计输入	331
5.4.3	FPGA 引脚分配	340
5.5	FPGA 编译与仿真调试	342
5.5.1	FPGA 编译	342
5.5.2	FPGA 仿真	344
5.5.3	FPGA 编程、配置与调试	346
5.6	测试系统 PCB 设计简介	352
5.6.1	PCB 软件	353
5.6.2	PCB 设计方法和流程	354

5.6.3	PCB 设计原则	357
5.6.4	高速 PCB 设计概述	360
习题		363
参考文献		364
第 6 章	测试信号接入、传输与总线技术	365
6.1	引言	365
6.2	测试信号的有线传输与接入技术	368
6.2.1	有线接入技术概述	368
6.2.2	光纤通信技术	369
6.3	测试信号的无线传输与接入技术	380
6.3.1	无线接入技术概述	380
6.3.2	无线局域网	383
6.3.3	蓝牙技术	391
6.4	工程遥测技术	397
6.4.1	遥测技术简介	397
6.4.2	遥测系统的组成	398
6.4.3	遥测系统的技术要求	400
6.4.4	遥测的分类和特征	401
6.4.5	遥测系统应用实例——PCM - FSK - FM 混合制遥测系统	403
6.5	数字测试系统的总线支持技术	406
6.5.1	总线技术简介	406
6.5.2	Fire Wire 总线	410
6.5.3	USB 总线	419
6.5.4	现场总线	427
6.5.5	CAN 总线	433
6.6	网络化测控概述	437
6.6.1	现代网络化测控概述	437
6.6.2	网络化测控技术的发展过程	438
6.6.3	网络化测控系统的定义和组成	440
6.6.4	网络化测控技术的基本内容	441
6.6.5	网络化测控需要解决的关键技术	441
6.6.6	网络化测控的特点	442
6.6.7	网络化测控系统的结构	442
6.6.8	网络化测控系统结构的典型应用	445
习题		447
参考文献		448

第1章 绪 论

本章主要讲解数字化测试技术的基本概念、起源、发展及其特点,并介绍数字化测试系统组建的基本框架和测试的实施过程,重点介绍测试中激励信号的产生(信号源),以及与被测对象紧密相关的测试信号接口设计方法。

1.1 引 言

1.1.1 数字化测试技术的基本概念

数字化测试技术是指采用数字电路对研究对象进行测量和测试的技术。与之相对应的是模拟测试技术。

数字:用量化、离散化后的物理量来表示的数据。用量化、离散化后的物理量来进行采集、存储、处理、传输以及显示等技术的总和称为数字技术,直观的有 0、1 逻辑电平,数字通信里的 QAM 调制(正交幅值调制)等。

模拟:在数字化出现之前,该词的意义并不明显,反倒是出现数字信号以后,为了与数字技术区分,特别着重提出的概念。模拟一词的含义主要为以连续变化的物理量表示的数据。

模拟量经过量化以后得到的量称为数字量,如图 1-1 所示。图中 q 称为量化单位,物理量(斜线表示)在 $0 \sim 7q$ 范围内被划分为 7 层,每一层包含的该物理量的最大与最小之差值为 q 。若用 q 的倍数 m 来表示该物理量的大小,则 m 只能是 $0, 1, 2, \dots, 6$ 七个数字之一, m 就是数字量。

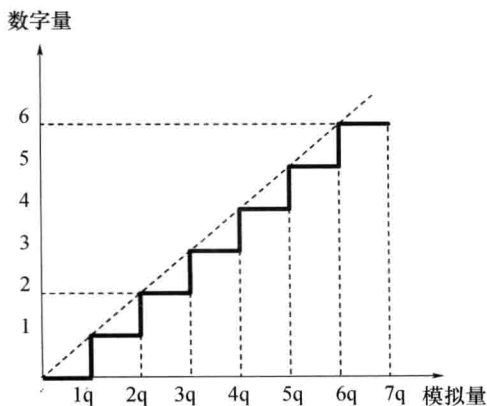


图 1-1 量化图示

自然界的绝大多数物理量的天然特性都是模拟量,人们看到的、听到的都是连续变化的模拟量。数字技术实际上是人类抽象出来的概念,借助模拟量来间接实现。数字技术可以说是人类区别于一般动物的又一个典型特征。

测量(measure)、测试(test)、计量(metrology)三者都是仪器科学与技术学科的重要组成部分,有相通的地方,又有各自的侧重方面。

测量是人们对客观事物取得定量认识的一种手段。测量是个比较过程,即将被测量同已知量相比较,以确定被测量与选定单位的比值。这个比值同单位结合在一起称为量值,量值是物理量的表征。测量针对的是几何量等静态对象,而测试则针对电量、冲击、振动等动态变量。计量则有特殊的意义,是指与国际标准计量单位、标准件进行比对,或量值传递,以及对仪器进行校准。计量是规范测量的测量。计量是依法监督测量工具的准确性与测量行为的规范性手段。由资格被认可的人员按照规程使用有溯源性的标准与测量仪器进行的以判别测量器具合格性为目的的测量,就是计量。建立基准,即复现单位,建立各级计量标准与量值传递网,定期检定测量工具,进行量值统一,是计量的基本业务。计量是可以溯源到标准量的测量。

计量的概念相对独立一些,计量的目的是保证测量的准确,它有标准建立、传递的过程,是一个依法进行标定、校准的过程,归计量局和计量研究院来管理。测试和测量较容易混淆,严格来说,测量主要针对静态的对象或过程,而测试是对多个量进行自动检测,并且关注的往往是动态的过程。另外,检测则主要关注产品或者部件的质量是否过关或属于相应的等级(如宝石纯度、矿石成分、金饰的含金量等),是否有缺陷,是否有致病物,是否有瑕疵,是否有走私违禁物品等,主要属于国家质量监督检验检疫总局管理的范围。

1.1.2 数字化测试技术的重要地位

测试是人类认识物质世界的基本手段,是科学研究的基本方法。科学探索需要测试技术,用定量关系和数学语言来表述科学规律和理论需要测试技术,检验科学理论和规律的正确性同样需要测试技术。

精确的测试是科学的根基。钱学森说过:“新技术革命的关键是信息技术。信息技术由测量技术、计算机技术和通信技术三部分组成。测量技术是关键和基础。”我国的多位院士一致认为,仪器仪表是认识世界、改造世界的工具,尤其是在科学技术高速发展的时代,仪器仪表行业必须改变落后状态;仪器仪表不能只靠引进,否则就不可能有科学技术研究工作的真正的自力更生;科学技术是第一生产力,首先要由仪器仪表去认识世界。

当今,科学仪器事业对社会经济发展的作用和贡献,已经远远超出大工业时代的“工具”范畴。“工欲善其事,必先利其器”,这句千百年前的中国古话,证实了测试仪器的重要性:没有百分表、千分卡,就不可能制造出精密机械零部件,就不可能保证互换性和现代工业产品的质量,也不可能出现世界制造产业和经济的全球化发展;没有准确可靠的压力表、流量计、温度计及相应的自动化检测、控制仪表与系统,就不可能产生现代

化的化学和冶金工业,化肥、农药、药品、塑料、钢材、各种新颖材料就不会出现。更重要的是,二十世纪以来全球科技和经济的发展越来越说明了科学仪器的作用和贡献早已超出了“工具”范畴。例如,美国在 20 世纪 70 年代发射的“Sky-Lab”(空间实验室)卫星曾经在空间遥测、评估世界各国农作物生长情况,从而使美国可以人为地操纵控制世界谷物、油料市场的供求和价格,让许多国家大吃苦头而自己投机受益;我国发射的“资源一号”卫星,装备有一系列光谱扫描仪、CCD 相机、遥测信号处理、发射仪器,可以完成国土勘测、监视农作物长势、评估农作物产量、监测和预报自然和人为灾害、观测环境污染态势、勘探地下矿藏等一系列重大任务,对我国经济建设发挥了巨大作用。2000 年我国西藏雅鲁藏布江支流大面积洪灾时,利用“资源一号”卫星在不到 10h 内根据所获得的滑坡区三维立体图准确地做出了灾害定量评估,为减灾救灾提供了基础。

目前,测试技术已渗透到人类活动的每个领域,测试技术广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护等各个方面,而且发挥着越来越重要的作用,成为国民经济发展和社会进步的一项必不可少的重要基础技术。因而,使用先进的测试技术也就成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

在我国,由于科学仪器科技和产业发展水平远远落后于世界先进水平而带来的问题比比皆是。作为农业大国,以只占全世界耕地面积 7% 的土地养活了占世界人口 1/5 的人民,确实是奇迹,是对全世界做出的巨大的贡献;但是,这只是 10 多亿中国农民汗流浹背“靠天吃饭”用艰苦劳动挣出来的;传统农业的低效率、低品质、高劳力、高损耗等,仍然是制约我国向现代化农业发展的严重问题。我们没有选育良种必需的高效、优质农业专用仪器,没有高灵敏度农产品品质检测仪器,没有可靠准确的农药残留量分析仪器,以致我国大量生产的主要粮食作物——玉米在世界市场上被评为“饲料级”;出口的禽类、肉类甚至茶叶、蔬菜、蜂蜜等大宗物品被拒进入欧盟、日本等国家。我国是家电业、IC 产业生产大国,我国完成了 1% 人类基因测序工作,这些都是值得我们扬眉吐气的事;但是我们所用的家电、计算机核心技术、主要芯片、新型基因测序仪全部是进口的。方方面面的无数事实,已经明确地警示我们:科学仪器事业的发展确实是国家科技、经济和社会发展的基础;在当今全球化经济发展潮流中,科学仪器事业发展水平落后确实已成为我国经济可持续发展的“瓶颈”。2001 年 3 月举行的七届四次全国人大会议上提出“国家经济与社会发展第十个五年计划纲要”中明确提出“把发展仪器仪表放到重要位置”。国家发展纲要提到仪器仪表,而且放到重要位置,是建国以来的第一次。紧接着,国家计委、经贸委、科技部等许多部委都列了若干专项,动用了大笔资金支持仪器仪表的发展。2005 年,国家发改委正式下达了“加快振兴装备制造业的若干意见”,提出了在各个行业中选出 16 项重点发展领域立专项支持发展,其中第 11 项就是重大工程自动化控制系统和精密测试仪器。

测试的基本任务是获取信息,测试技术是信息科学的源头和重要组成部分。数字化测试技术被广泛地应用于各类仪器仪表中,在精确度、稳定性和抗干扰方面都远远超过模拟式仪表,决定着各类仪器仪表的发展状况以及发展趋势。因此,数字化测试技术

在仪器仪表中具有极其重要的地位。

1.1.3 数字化测试技术的起源和发展

20 世纪 50 年代第一块数字电压表问世以后,数字测试技术发展迅速,在仪器仪表与测试系统专业领域中的地位变得越来越重要。在此之前的仪表都是指针式仪表、模拟电路仪表。传统的模拟式仪表功能简单、精度低、响应速度慢,而数字式仪表具有精度高、响应速度快、读数清晰直观、便于与计算机技术相结合等优点,使得数字化仪表逐步取代传统的模拟式仪表。许多高精度、高灵敏度、高采样速率的各类数字仪表不断涌现,解决了许多传统仪器仪表所无法测量的物理参数或变化过程的测试问题。

传统的电测仪表或电测系统,就是把各种类型的传感器与指示或记录装置(如电表或伺服机构)结合起来,联成一体。像这类在整个测试过程中只是模拟量之间发生转换的仪表或测试系统,称为模拟式的电测仪表或电测系统。20 世纪五六十年代,这种模拟式电测仪表与电测系统曾经是工业自动化测试系统的主导力量。正因为模拟技术几十年的经验积累,至今有许多测试系统的组成都还与传统的模拟式电测系统有着一定的联系。

数字技术的发展使得人们认识到采用数字技术测量某些物理量要比单纯模拟式的更精确、分辨力更高。因此,20 世纪 50 年代第一块数字电压表问世以后,开始出现了各种简单的数字仪表,如图 1-2 所示。其核心部件是一个直流数字电压表,传感器把被测参数转换成直流电压信号,然后采用模/数转换把电压信号转换成数字量,最后以数字显示测量结果。

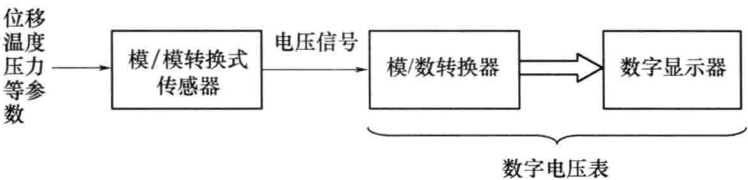


图 1-2 一种简单的数字仪表结构图

目前,这种“传感器—数字电压表”类型的数字仪表仍然有不小的市场,而且这类仪表的数字电压表部分有了很大的改进,特别是在模/数转换部分实现了高度的集成化。同时,在传感器和数字电压表之间加入了信号调理电路,大大提高了测试的精度,并且能够满足匹配、放大、标度运算以及补偿传感器某些误差等要求。

20 世纪 70 年代以来,随着微处理器和计算机技术的不断发展,计算机性能得到了极大的提高。而测试技术与计算机技术相结合而形成的自动化测试技术,产生了一代崭新的自动化测试仪表——智能化仪表与智能化测试系统。它们具有高精度、高速率、多通道采集原始测量参数的能力。智能仪器一般包括有微处理器的电路、模拟量输入/输出通道、键盘显示接口、标准通信接口等。通过内置微处理器,利用微处理器强大的数字运算及处理能力,智能仪器可以实现量程自动换转、自动调零、自动调整触发电平、

自动校准和自诊断等“智能化”功能。智能仪器既能进行自动测试又具有一定的数据处理能力,可以解决熟练测试技术人员在短时间内所难以完成的数据处理问题,实现多功能实时自动测试。

虚拟仪器技术是 20 世纪 90 年代发展起来的一项新技术,主要应用于自动测试、过程控制、仪器设计和数据处理等领域,其基本思想是在测试系统或仪器设计中尽可能地采用软件来代替硬件,即实现“软件就是仪器”。自 1976 年美国国家仪器公司(NI)提出虚拟仪器的概念以来,虚拟仪器这种计算机控制的模块化仪器系统在世界范围内得到了广泛的传播和应用,国内近几年的应用需求也急剧高涨。

虚拟仪器是基于计算机的自动化测试仪器系统,虚拟仪器利用加在计算机上的一组软件与仪器模块相连接,将计算机硬件资源与仪器硬件有机地融合为一体,大大缩小了仪器硬件的成本和体积,并通过计算机强大的图形界面和数据处理能力提供对测量数据的分析和显示。

虚拟仪器的优点:

(1) 融合计算机强大的硬件和软件资源,实现了部分仪器硬件的软件化,增加了系统灵活性。同时,突破了传统仪器在数据处理、存储、人机交互等方面的限制。

(2) 基于计算机总线和模块化仪器总线,硬件模块化、系列化,提高了系统的可靠性和易维护性。

(3) 基于计算机网络技术和接口技术,广泛支持各种工业总线标准。可方便地构建自动测试系统,实现测量、控制过程的智能化、网络化。

(4) 基于计算机的开放式标准体系结构。硬、软件均具有开放性、可重复使用及互换性等特点。用户可根据自己的需要,选用不同厂家的产品,使仪器系统的开发更为灵活、效率更高,缩短了系统组建时间。

如今,随着互联网技术的高速发展,网络化测试仪器成为了数字测试技术的发展趋势。网络化测试能够将测得的数据(信息)通过网络传输给异地的精密测量设备或高档次的微机化仪器去分析、处理。

网络的最大特点就是可以实现资源共享,使现有资源得到充分利用,从而实现多系统、多专家的协同测试与诊断。它解决了已有总线在仪器台数上的限制,使一台机器为更多的用户使用,实现测量信息的共享和整个测试过程的高度自动化、智能化,同时减少了硬件设备的数量,有效降低了测试系统的成本。另外,网络可以不受地域的限制,这就决定了网络化测试系统可以实现远程测控,使测试人员不受时间和空间的限制,随时随地获取所需信息;同时,网络化测试系统还可以实现测试设备的远距离测试与诊断,提高测试效率。正是网络化测试系统的这些优点,使得网络化测试技术倍受关注。

计算机技术的发展,尤其是微型计算机问世之后,数字仪表和测试系统中越来越广泛地采用一个简单的计算机系统去完成数据处理、程序控制、逻辑操作等功能,大大地减少了硬件的数量。如带有计算机的数字测试系统,常常带有丰富的外设,并且具有很大的灵活性,即在不改变硬件的条件下,通过修改软件,便可适应不同的应用场合,满足不同的测试要求。

1.1.4 数字测试仪表的特点

(1) 数字测试仪表具有高精度、高分辨率、高灵敏度的特点。

对于测试仪表,要求它具有高的精度,测量装置能够准确地测量被测对象的状态和参数,如现代数字电压表测量直流的准确度可以达到满度的 0.001%,甚至更高;积分式数字电压表的分辨率可达 $0.01\mu\text{V}$ 。

(2) 数字测试仪表具有高速采集数据的特点。

数字测试仪表能够把传感器测试到的冲击、爆破等快速变化过程中的瞬态数据采集并存储起来,这种高响应速度是传统模拟仪器所无法实现的。

(3) 数字测试仪表具有读数准确、方便、操作简单等特点。

采用数字显示的方式,读数准确、迅速,不受视角影响,不会产生判读误差。并且,数字仪表一般具有较高的自动化程度,能够自动根据实际测量值选择合适的量程,操作方便。

(4) 数字测试仪表具有数据处理功能。

比较完善的数字仪表,往往具有自动校零、自动增益校准、自动误差修正(包括对原理性误差、结构性误差及随机性误差的修正)等数据处理能力。尤其是测量非电量的数字仪表,具有数据处理功能后将大大地减轻测试的劳动强度。许多数字仪表具有多参数综合测量与数据处理能力,常常可以实现一机多功能综合测试的目标。

随着计算机技术的发展和微处理器技术的不断进步,数字仪表的数据处理能力变得越来越强。测试过程中所要求的各种数学运算、逻辑功能几乎全部可在带微型计算机系统的数字仪表中得到实现。

(5) 数字测试仪表具有先进的显示方式,可随意存取测试结果。

一些简单的数字仪表多采用 LED 或 LCD 七段数字显示器,它们只能显示出数字或者为数有限的标记号。采用 CRT 显示器或者平面显示器的数字仪表,可显示出参数随时间或空间变化的分布曲线,也可显示出数据表格、文字说明等多种显示格式,尤其是彩色显示器的应用,更具有多层次、形象生动、更能被人们所接受。

数字仪表一般多具有可以存储数据的设备,如 RAM、E²PROM、数字或模拟式图形记录仪等,可短期或长期保存数据或波形,以备调用。

(6) 数字测试仪表具有自检测或自诊断等功能。

许多数字仪表内部都设有自检电路或自检程序,能够自己判断自身内部是否正常工作。在一些能够进行人机对话操作的数字仪表中,还具备自诊断功能,即可以提示操作者在操作过程中出现了什么错误,以及纠正方法,以便于操作的顺利进行。

1.2 数字化测试技术的现状和发展趋势

1.2.1 现状

随着近代科学技术,特别是信息科学、材料科学、微电子技术和计算机技术的迅速