

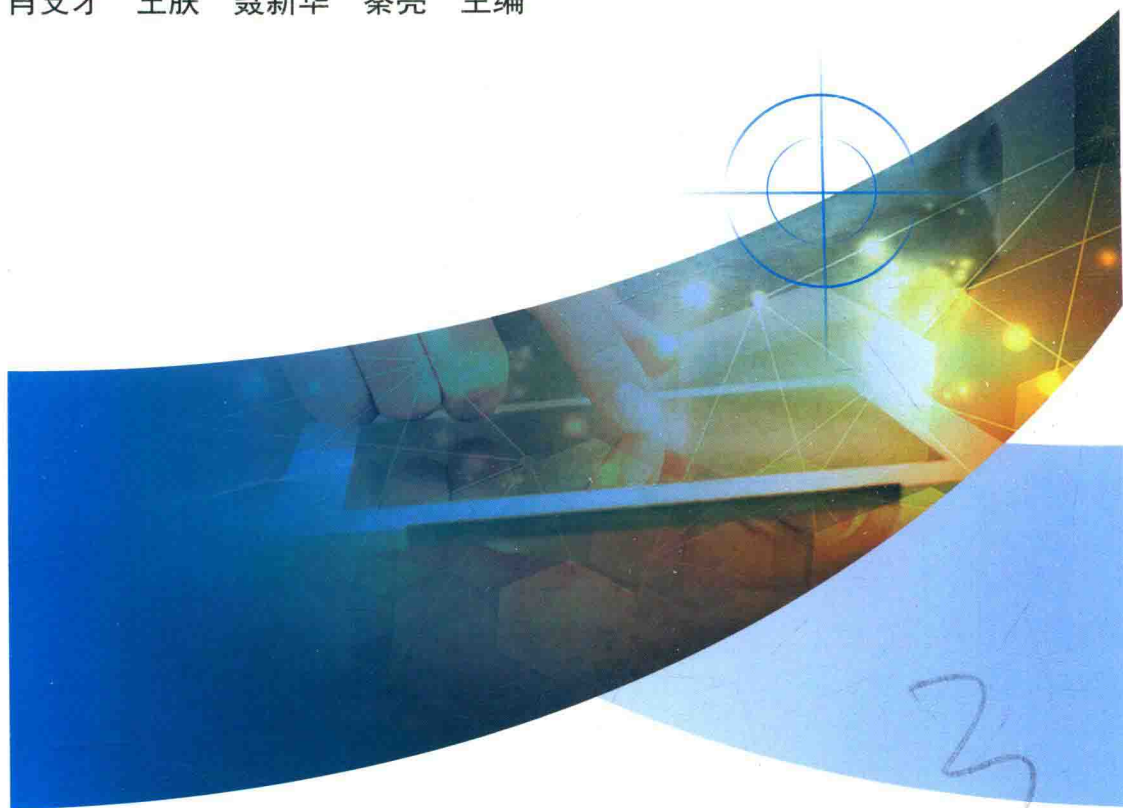


海军重点建设教材

Automatic Test Technology

自动测试技术

肖支才 王朕 聂新华 秦亮 主编



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



海军重点建设教材

自动测试技术

肖支才 王朕 聂新华 秦亮 主编



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍自动测试基本原理及其相关知识,全书共12章,分为五个部分。第一部分(第1和第2章)主要讲述测量、测试、总线、接口等自动测试技术的基本概念,扩展阅读部分简要介绍下一代自动测试系统的若干关键技术。第二部分(第3至第7章)主要讲述自动测试系统中的总线技术,包括串行通信总线(如,RS-232C/422/485总线、1553总线)、并行通信总线(如,GPIB总线)和系统总线(如,VXI总线、PXI总线和LXI总线)。第三部分(第8和第9章)主要讲述自动测试系统软件开发环境、虚拟仪器软件架构VISA、可编程程控命令SCPI以及测试仪器模块驱动程序的开发。第四部分(第10和第11章)主要讲述自动测试系统的集成技术和抗干扰技术,扩展阅读部分介绍电子设备的电磁兼容试验标准。第五部分(第12章)介绍电子设备的故障诊断与维修基础知识,为学生进一步学习或实际开展测试、诊断、维修工作奠定基础。本书内容理论联系实际、实用性强,尤其注重普遍性和先进性,可为本科学员更好地掌握电子装备测试系统的工作原理、熟练使用各型自动测试设备以及对自动测试设备进行维修提供理论基础和实践指导。

本书主要作为军事院校测控工程等相关专业学员本科学历教育教材,也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动测试技术 / 肖支才等主编. -- 北京:北京航空航天大学出版社, 2017.6

ISBN 978-7-5124-2377-0

I. ①自… II. ①肖… III. ①自动测试系统 IV. ①TP274

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第081396号

版权所有,侵权必究。

自动测试技术

肖支才 王朕 聂新华 秦亮 主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱:goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京兴华昌盛印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:21.75 字数:557千字

2017年8月第1版 2017年8月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-2377-0 定价:45.00元

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题,请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

前 言

随着现代科学技术的发展,电子设备日趋复杂,自动化程度也越来越高,自动测试技术越来越广泛地应用于工业设备和武器装备的测试与故障诊断中。为深入阐述自动测试基本理念,紧密跟踪当前自动测试技术发展方向,结合应用背景以及笔者的实践经验,编写了本教材。

全书共分12章。第1章为概论,介绍自动测试系统的基本概念、发展历程、评价指标及现代测试系统的体系结构,扩展阅读部分介绍下一代自动测试系统的计划、体系结构和关键技术。第2章为测量误差,介绍测量误差的分类、表示形式、消除及数据的预处理等内容。第3章为串行通信接口总线技术,首先介绍总线和串行通信的相关概念,然后介绍典型的RS-232C/422/485串行通信总线的组成、使用等内容,最后介绍1553总线的硬件组成和信息传输格式等内容。第4章为GPIB接口总线技术,主要介绍GPIB(又称为IEEE 488)并行总线的结构、接口功能、三线挂钩、消息编码和IEEE 488.2总线等,同时还以基于GPIB的自动化驾驶仪通用化测试设备作为应用案例进行讲解。第5章为VXI总线技术,主要介绍VXI总线的发展概况、机械结构、电气规范、基本功能和控制方案等内容,最后以基于该技术的某型电子装备通用化测试系统作为具体应用案例进行介绍。第6章为PXI总线技术,分别从基本概念、机械规范、电气规范和软件规范等方面介绍PXI总线技术,并给出了具体应用实例,即某型通用电子装备测试信号在线监测录取系统。第7章为网络化测试与LXI总线技术,主要介绍LXI总线的网络相关协议、物理规范、触发机制,最后以基于该技术的某型装备测试系统作为应用实例。第8章为自动测试系统软件开发环境,着重介绍LabVIEW、LabWindows/CVI等两种主流软件开发环境,扩展阅读部分简要介绍Atlas软件开发环境的相关知识。第9章为测试仪器驱动程序开发,首先介绍虚拟仪器软件架构VISA和可编程仪器标准命令SCPI,最后介绍VPP和IVI仪器驱动程序的开发步骤。第10章为自动测试系统集成技术,首先介绍自动测试系统的开发和集成的主要步骤与流程,其次以某型通用测试平台作为开发实例,对自动测试系统的集成技术进行深入讲解。第11章为自动测试系统的抗干扰技术,分别介绍干扰的基本概念、干扰的模式、耦合途径、干扰抑制技术及计算机系统的抗干扰技术,扩展阅读部分介绍了电磁兼容试验标准,即信息技术设备的定义、限值、电磁兼容测量方法及抗干扰度试验等,重点讲述了电磁兼容测量方法及抗干扰度实验。第12章为诊断

与维修技术基础,介绍电子设备故障诊断与维修的基本概念,常用电子设备故障诊断与设备维修的技术与方法。

本教材由肖支才副教授、王朕副教授共同编写,秦亮讲师和聂新华讲师在编写过程中绘制了大量插图。史贤俊教授担任本书的主审,并提出了许多宝贵的意见,在此表示诚挚的谢意。

在本书的编写过程中,参考了大量国内外书刊资料、兄弟院校的相关教材、部分学术及学位论文,在此对原作者致以深深的谢意。同时,海军航空工程学院控制工程系、训练部教务处等领导机关给予了极大支持,在此表示衷心感谢。

由于水平有限,编写时间仓促,错误疏漏在所难免,恳请读者、专家批评指正并联系我们,修订时一定予以更正。

编者
2017年5月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 基本概念	1
1.1.1 测量与测试	1
1.1.2 自动测试与自动测试系统	1
1.1.3 自动测试技术	3
1.1.4 总线和接口	4
1.2 自动测试系统发展历程	7
1.2.1 第一代自动测试系统	7
1.2.2 第二代自动测试系统	8
1.2.3 第三代自动测试系统	9
1.2.4 军用自动测试系统的发展概况	9
1.3 现代自动测试系统体系结构	11
1.4 自动测试系统评价指标	12
1.4.1 故障检测率	12
1.4.2 故障隔离率	12
1.4.3 虚警率	12
1.4.4 连续工作时间	13
1.4.5 可靠性	13
1.4.6 电磁兼容性	13
1.4.7 可扩展性	13
本章小结	13
思考题	14
扩展阅读:下一代自动测试系统	14
第 2 章 测量误差	22
2.1 测量误差的分类	22
2.1.1 名词术语	22
2.1.2 测量误差的分类	22
2.2 测量误差的表示形式	23
2.2.1 随机误差	23
2.2.2 剩余误差	23
2.2.3 系统误差	24
2.2.4 绝对误差	24
2.2.5 标准误差	24
2.2.6 标准误差估计值	24

2.3	测量仪器的误差	24
2.4	测量误差的消除	25
2.4.1	随机误差的处理	25
2.4.2	系统误差的消除	26
2.4.3	疏失误差的剔除	26
2.4.4	测试结果处理的步骤	27
2.5	测量结果的置信度	27
2.6	误差的合成	28
	本章小结	28
	思考题	29
	扩展阅读:度量衡的起源	29
第 3 章	串行通信接口总线技术	33
3.1	概 述	33
3.1.1	编码方式	33
3.1.2	通信方式	33
3.1.3	数据传输方向	35
3.1.4	波特率	35
3.1.5	通信协议	36
3.2	RS-232C 接口	36
3.2.1	接口机械特性	36
3.2.2	信号线功能描述	37
3.2.3	接口电气特性	39
3.2.4	RS-232C 的应用	41
3.3	RS-422/485 接口及应用	44
3.3.1	RS-422A 串行总线接口	45
3.3.2	RS-485 串行总线接口	46
3.3.3	RS-232/422/485 接口电路性能比较	48
3.4	MIL-STD-1553 数据总线	48
3.4.1	硬件组成	49
3.4.2	信息传输格式	50
	本章小结	54
	思考题	54
	拓展阅读:某型号弹上计算机测试系统	54
第 4 章	GPIB 接口总线技术	61
4.1	GPIB 总线结构	61
4.1.1	GPIB 基本特性	62
4.1.2	GPIB 总线	64

4.2	GPIB 接口功能	70
4.2.1	10 种接口功能	70
4.2.2	仪器内部接口功能配置	73
4.3	三线挂钩技术	73
4.4	IEEE 488.1 标准总线协议编码	76
4.4.1	信息分类	76
4.4.2	接口信息及编码	76
4.4.3	设备信息及编码	82
4.4.4	信息的传递	84
4.5	IEEE 488.2 标准	86
4.5.1	IEEE 488.2 标准的主要目的和内容	86
4.5.2	IEEE 488.2 器件功能命令集的规定	86
4.5.3	IEEE 488 性能扩展	88
	本章小结	89
	思考题	89
	应用案例:基于 GPIB 总线的基型自动驾驶仪通用测试设备	90
第 5 章	VXI 总线技术	94
5.1	VXI 总线概述	94
5.2	VXI 总线的机械结构规范	96
5.3	VXI 总线电气规范	97
5.3.1	系统配电	97
5.3.2	子总线	98
5.4	VXI 总线基本功能规范	102
5.4.1	VXI 数据传输	102
5.4.2	VXI 总线仲裁	106
5.4.3	VXI 中断机制	108
5.4.4	VXI 触发机制	110
5.5	VXI 器件	113
5.5.1	组成与分类	113
5.5.2	配置寄存器	115
5.5.3	器件类别相关的寄存器	115
5.6	VXI 总线控制方案	117
5.6.1	零槽与资源管理器	117
5.6.2	系统控制方案	118
	本章小结	120
	思考题	120
	应用案例:基于 VXI 总线的 XX-13 通用化测试设备	120

第 6 章	PXI 总线技术	124
6.1	PXI 总线概述	124
6.1.1	PCI 总线	124
6.1.2	CPCI 总线概述	125
6.1.3	PXI 总线概述	126
6.2	PXI 总线机械规范	126
6.3	PXI 总线电气规范	128
6.3.1	系统参考时钟	129
6.3.2	触发总线	129
6.3.3	本地总线	130
6.3.4	星形触发器	130
6.3.5	局部总线	131
6.4	PXI 总线软件规范	131
6.4.1	标准操作系统	131
6.4.2	仪器驱动程序	131
	本章小结	132
	思考题	132
	应用案例:基于 PXI 总线的某型电子装备测试数据在线采集系统	132
第 7 章	网络化测试与 LXI 总线技术	138
7.1	LXI 总线网络相关协议	138
7.1.1	LXI 支持的协议	138
7.1.2	LXI 仪器的寻址	138
7.1.3	LAN 查询功能	139
7.1.4	LXI 仪器分类	139
7.2	LXI 总线的物理规范	139
7.2.1	机械标准	139
7.2.2	电气标准	140
7.2.3	状态指示器	141
7.3	LXI 总线的触发机制	141
7.3.1	基于 LAN 消息的触发	142
7.3.2	LXI 模块间的数据通信	143
7.3.3	基于同步时钟协议(IEEE 1588)的触发	145
7.3.4	硬件触发总线	151
	本章小结	156
	思考题	156
	应用案例:基于 LXI 总线的 XXX-1 测试系统	156

第 8 章 自动测试系统软件开发环境	166
8.1 LabVIEW 软件开发环境	166
8.1.1 LabVIEW 简介	166
8.1.2 LabVIEW 程序的组成	170
8.1.3 LabVIEW 编程中的结构控制	172
8.2 LabWindows/CVI 软件开发环境	178
8.2.1 LabWindows/CVI 简介	178
8.2.2 LabWindows/CVI 编程环境	179
8.2.3 LabWindows/CVI 的函数库	182
本章小结	190
思考题	190
扩展阅读:ATLAS 软件开发环境	190
第 9 章 测试仪器驱动程序开发	195
9.1 虚拟仪器软件结构 VISA	195
9.1.1 VISA 简介	195
9.1.2 VISA 的结构	197
9.1.3 VISA 的特点	197
9.1.4 VISA 的现状	198
9.1.5 VISA 的应用举例	198
9.1.6 VISA 资源描述	201
9.1.7 VISA 事件的处理机制	203
9.2 可编程仪器标准命令 SCPI	205
9.2.1 SCPI 仪器模型	205
9.2.2 SCPI 命令句法	206
9.2.3 常用 SCPI 命令简介	210
9.3 VPP 仪器驱动程序开发	212
9.3.1 VPP 概述	212
9.3.2 VPP 仪器驱动程序的特点	213
9.3.3 仪器驱动程序的结构模型	214
9.4 IVI 仪器驱动程序	219
9.4.1 IVI 规范及体系结构	219
9.4.2 开发 IVI 的特定驱动程序	221
9.4.3 LabWindows/CVI 环境下 IVI 仪器驱动程序	222
本章小结	225
思考题	225
扩展阅读:基于 VISA 标准的仪器驱动程序设计	225

第 10 章 自动测试系统集成技术	229
10.1 自动测试系统的开发与集成流程	229
10.2 通用测试平台	231
10.2.1 测试平台通用化的作用意义	231
10.2.2 测试平台开放式体系架构	232
10.2.3 通用测试平台实例	239
本章小结	247
思考题	247
扩展阅读: COBRA/T——美军通用自动测试系统	247
第 11 章 自动测试系统的抗干扰技术	252
11.1 概 述	252
11.2 干扰源及干扰模式	253
11.2.1 干扰源	253
11.2.2 干扰模式	254
11.3 干扰耦合途径	256
11.3.1 电路性耦合	256
11.3.2 电容性耦合	257
11.3.3 电感性耦合	259
11.4 干扰抑制技术	260
11.4.1 屏 蔽	260
11.4.2 接 地	265
11.4.3 滤 波	269
11.5 计算机系统抗干扰	271
11.5.1 电源系统抗干扰	272
11.5.2 传输通道抗干扰	274
11.5.3 计算机软件抗干扰	280
11.5.4 ATE 系统接地方法	284
本章小结	286
思考题	286
扩展阅读: 电磁兼容试验标准介绍	286
第 12 章 诊断与维修技术基础	292
12.1 概 述	292
12.1.1 基本概念	292
12.1.2 诊断与维修的目的和意义	295
12.2 电子设备的诊断技术	298
12.2.1 故障诊断技术的发展	298

12.2.2	电子设备故障机理及故障规律分析	299
12.2.3	电子设备故障诊断方法	312
12.2.4	电子设备故障诊断技术	317
12.3	电子设备的维修技术	324
12.3.1	常用电子设备维修技术	324
12.3.2	常用电子设备维修方法	326
	本章小结	332
	习 题	333
	拓展阅读: Pit - Stop 抢修技术	333
	参考文献	336

第1章 概论

随着武器装备或电子设备功能越来越强大,结构越来越复杂,其维护保障任务也越来越艰巨。在计算机控制下实现对复杂装备、设备的自动测试越来越受到重视,相对应的自动测试技术发展越来越迅速、应用越来越广泛,对自动测试技术的学习与应用也越来越受到重视。本章主要对自动测试系统的基本概念、发展历程、评价指标、现代体系结构等内容进行简要介绍。

1.1 基本概念

1.1.1 测量与测试

以确定量值为目的的一组操作称为测量。一组操作的结果可得到量值,或者进一步说可以得到数据,这组操作称为测量。例如:某人的身高 1.78 m 是通过测量得到的,而对某固体表面所进行的硬度试验,不能称为测量,因为这一操作并不能给出量值。

在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称为测试。例如,交流电源相关技术指标均有准确度要求,比如说其输出电压为 (115 ± 5) V,频率为 (400 ± 5) Hz,波形失真度 $< 3\%$,这时,对该交流电源的技术指标进行试验性的测量过程称为测试。

测试与测量概念的区别体现在以下几个方面:

① 测试是指试验研究性质的测量过程。这种测量可能没有正式计量标准,只能用一些有意义的方法或参数去“测评”对象状态或性能,比如对人能力的测评和不规则信号的测量都属这种性质。

② 测试也可指只着眼于定性而不重定量的测量过程。比如,数字电路测试主要是确定逻辑电压的高低而非逻辑电压的准确值。这种测量过程也称为测试。

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,其目的在于鉴定被测对象的性质和特征。

因此可以这么理解:测试与测量两个概念的基本含义是一致的,但测试概念的外延更宽,更注重强调试验性质与过程。

1.1.2 自动测试与自动测试系统

与测试相关的因素包括人、测试仪器或系统、测试对象。根据人在测试过程中的参与程度,可将测试分为自动测试、半自动测试和手动测试。测试系统开始工作后,在没有人参与的情况下,按照预先设定的流程自动对被测对象进行测试并直接给出结果的,称为自动测试;测试系统开始工作后,人参与部分的测试工作,如测试条件的构成、测试结果的判断等,这种测试称为半自动测试;测试系统开始工作后,人参与每个参数的测试,如选择测试位置、手段、方法等,这种测试称为手动测试。

自动测试系统(Automatic Test System, ATS)是指采用计算机控制,能实现自动测试的

系统,是自动完成激励、测量、数据处理并显示或输出测试结果的一类系统的统称。这类系统通常是在标准的仪器总线(如 CAMAC、GPIB、VXI、PXI 等)的基础上组建而成的,具有高速度、高精度、多功能、多参数和宽测量范围等众多特点。

根据应用环境和需求的不同,ATS 的规模也不尽相同。最简单的 ATS 可以仅由一台智能测试仪器组成,大规模的 ATS 可以由一台计算机控制下的许多测试仪器组成,甚至可以由分布在不同地理位置的若干个测试系统构成。但不论哪种情况,从 ATS 组成而言,都由自动测试设备(Automatic Test Equipment, ATE)、测试程序集(Test Program Set, TPS)和 TPS 软件开发工具组成,如图 1-1 所示。

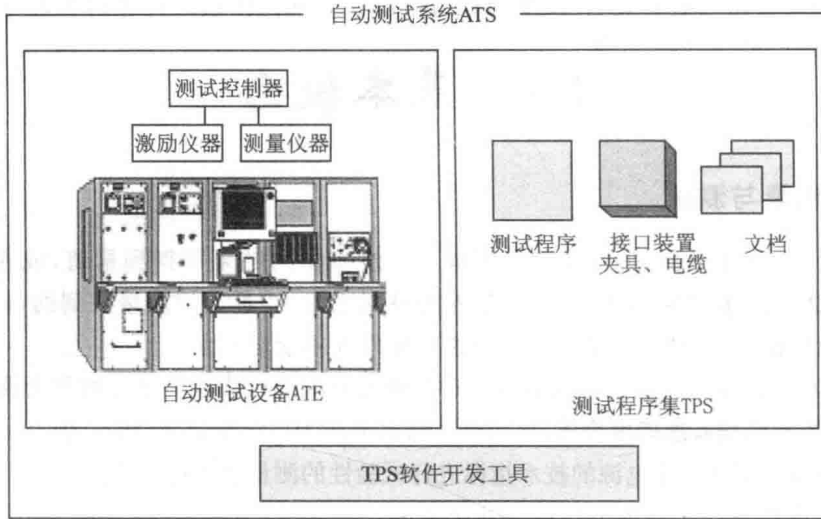


图 1-1 自动测试系统组成

ATE 是指用来完成测试任务的全部硬件资源的总称。ATE 本身可能是很小的便携设备,也可能是由多个机柜、多台仪器组成的庞大系统。为适应机载、舰载或机动运输的需要,ATE 往往选用加固型商用设备或者商用货架设备(COTS)。ATE 的核心是计算机,并通过计算机实现对各种复杂的测试仪器如数字万用表、波形分析仪、信号发生器及开关组件的控制。在测控软件的控制下,ATE 为被测对象中的电路或部件提供其工作所需的激励信号,然后在相应的引脚、端口或连接点上测量被测对象的响应,对各种物理量进行测量或给出测量结果,从而确定该被测对象是否达到规范中规定的功能或性能。

TPS 是与被测对象及其测试要求密切相关的。典型的测试程序集由三部分组成,即测试程序软件、测试接口适配器和被测对象测试所需的各种文件。测试软件通常用标准测试语言编写,如 Atlas、LabWindows/CVI 等。ATE 中的计算机运行测试软件,控制 ATE 中的激励设备、测量仪器、电源及开关组件等,将激励信号施加到所需位置,并且在合适的点来测量被测对象的相应信号,然后再由测试软件来分析测量结果并确定可能是故障的事件,进而提示维修人员更换某一个或几个部件。由于每个被测对象有着不同的连接要求和输入/输出端口,因此通常要求有相应的接口设备,即接口适配器,其主要完成测试对象到测试设备的正确、可靠的连接。

开发测试软件要使用一系列的工具体,这些工具统称为测试程序集成开发工具,如各种测试

软件的集成开发环境。

1.1.3 自动测试技术

自动测试技术是自动化科学技术的一个重要分支,是在仪器仪表的使用、研制、生产的基础上发展起来的一项涉及多个学科领域的综合性技术。

1. 自动测试技术的研究内容

自动测试技术的主要研究内容包括测量原理、测量方法、测量系统和数据处理四个方面。

测量原理是指测量所依据的物理原理。不同性质的被测量用不同原理去测量,同一性质的被测量也可用不同原理去测量。测量原理研究涉及物理学、热学、力学、电学、光学、声学 and 生物学等知识。测量原理的选择主要取决于被测量物理化学性质、测量范围、性能要求和环境条件等因素。测量原理的更新和发展,新的测量原理的研究与探索始终是测试技术发展的一个活跃领域。

测量方法是指人们依据测量原理完成测量的具体方式。一般按测量结果产生的方式,将测量方法分为直接测量、间接测量和组合测量三种。

① 直接测量:在测量中,将待测量与作为标准的物理量直接比较,从而得到被测量的数值,这类测量称为直接测量。

② 间接测量:在测量中,对与被测量有确定函数关系的其他物理量(也称原始参数)进行直接测量,然后通过计算获得被测量数值,这类测量称为间接测量。

③ 组合测量:测量中各个未知量以不同的组合形式出现,综合直接或间接测量所获得的数据,通过求解联立方程组以求得未知量的数值,这类测量称为组合测量。

测量系统是指完成具体测量任务的各种仪器仪表所构成的实际系统。按照信息传输方式,测量系统可分为模拟式和数字式两种。无论是哪种测量系统,一般都是由传感器、信号调理电路、数据处理与显示装置、输出装置等组成。其中,数字式测量系统由于信息传输均采用数字化信息,具有抗干扰能力强、速度快、精度高、功能全等优点,是目前测量系统的发展方向。

测量数据的精度不仅取决于测量原理、测量方法和测量系统,很大程度上也与数据处理密切相关。统计分析、数字信号处理都是测量数据处理中常用的算法。研究先进、快速、高效的数据处理算法,研制集数据采集、分析、管理和显示为一体的数据处理系统与软件,是现代测量系统的一个重要发展方向。

2. 自动测试技术的分类

测试技术分类有多种方式,如按应用的工程领域划分,测试技术包括机械测试、航空测试、水声测试等;目前,通常按照测试信号特征将测试技术划分为时域测试、频域测试、数据域测试和统计域测试四大类。

(1) 时域测试

时域测试就是在时间域观察动态信号随时间的变化过程,研究动态系统瞬态特性,测量各种动态参数。常见的时域测试仪器有示波器、波形记录仪等。

(2) 频域测试

频域测试就是在频率域观察信号频率的组成,测量信号频率的响应特性,获取信号频谱图像。事实上,频域测试与时域测试是研究同一过程的两种方法,通过数学上的傅里叶(Fourier)正变换和逆变换,可以建立时域测试与频域测试的对应关系。常见的频域测试仪器

有频谱分析仪和网络分析仪等。

(3) 数据域测试

时域和频域方法对于模拟电路和系统是行之有效的分析和测试方法,但对复杂的数字电路和系统未必有效。众所周知,数字信号采用二进制逻辑状态 0、1 来表示信号特性,与信号波形无关,而且正常的数据流中经常混杂错误信息。因此,数字电路与系统的测试需要新的方法和仪器。由于数字系统处理的是二进制信息(一般称为“数据”),所以数字系统测试也就被称为数据域测试。最常见的数据域测试仪器是逻辑分析仪。

(4) 统计域测试

统计域测试一般是指对随机信号的统计特性进行测试,也包括具有特定统计规律的随机信号,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或实现对噪声污染信号的精确检测。描述随机过程统计特性的主要参数包括:均值、标准偏差、方差、自相关函数和互相关函数以及谱密度函数等。

统计域测试中有两种基本激励信号:一种是白噪声信号,常用于系统的动态测试或对系统工作性能进行估测;另一种是伪随机信号,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。

1.1.4 总线和接口

在自动测试系统中,讨论最多的是总线和接口等相关概念。那么什么是总线,什么是接口?下面分别对其进行简要介绍。

1. 总线和接口的定义

总线存在于不同的应用领域,例如,在微型计算机系统中,利用 PC 总线来实现芯片内部、印刷电路板部件之间、机箱内各功能插件板之间、主机与外部器件之间的连接与通信,这通常是计算机制造商们所研究和关心的问题。然而,在工业测控的现场,总线则主要研究如何将数据采集检测与传感技术、计算机技术和自动控制理论应用于工业生产的过程控制中,并设计出由微机控制的自动化过程控制系统。同理,自动测试系统中的测试总线则是应用于测试与测量(Test & Measurement)领域内的一种总线技术,其主要研究如何在控制器与仪器模块之间、各个仪器模块之间、系统与系统之间进行有效通信、触发与控制。

总线从物理形式上讲是一组信号线的集合,是系统中各功能部件之间进行信息传输的公共通道。定义和规范测试总线的目的是使系统设计者只需根据总线的规则去设计,选择符合该总线规范的标准化测试仪器直接与总线连接而无须单独设计接口,因而简化了系统软硬件的设计,使系统组建简易方便,可靠性高,也使系统更易于扩充和升级。

接口是一个自动测试系统内计算机与仪器、仪器与仪器之间相互连接的通道。接口的基本功能是管理它们之间的数据、状态和控制信息的传输、交换,并提供所需的同步信号,完成设备之间数据通信时的速度匹配、时序匹配、信息格式匹配和信息类型匹配。因此,在设计一个以计算机为中心的测量控制系统时,设计和选择一个合适的接口成为系统设计的重要环节。接口按数据传输工作方式可分为串行接口和并行接口。串行接口数据信息是按位流顺序传输,采用 ASCII 码或 BCD 码;而并行接口中数据信息是按位流并行传输。

总线和接口的概念密不可分,紧密相随,总线是接口的总线,接口是总线的接口,很多场合两者混淆使用或者用一个概念表示两个概念的含义。

2. 总线技术规范

一个测试总线要成为一种标准总线,使不同厂商生产的仪器器件都能挂在这条总线上,可互换和组合,并能维持正常的工作,就要对这种总线进行周密的设计和严格的规定,也就是制定详细的总线规范。各生产厂商只要按照总线规范去设计和生产自己的产品,就能挂在这样的标准总线上运行,既方便了厂家生产,也为用户组装自己的自动测试系统带来灵活性和便利性。无论哪种标准的总线规范,一般都应包括以下三方面内容:

(1) 机械结构规范

规定总线扩展槽的各种尺寸,规定模块插卡的各种尺寸和边沿连接器的规格及位置。

(2) 电气规范

规定信号的高低电压、信号动态转换时间、负载能力和最大额定值等。

(3) 功能结构规范

规定总线上每条信号的名称和功能、相互作用的协议及功能结构规范是总线的核心。功能结构规范通常是以时序及状态来描述信息的交换与流向,以及信息的管理规则。总线功能结构规范包括:

① 数据线,地址线,读/写控制逻辑线,模块识别线,时钟同步线,触发线和电源/地线等。

② 中断机制的关键参数是中断线数量、直接中断能力、中断类型等。

③ 总线主控仲裁。

④ 应用逻辑,如挂钩联络线、复位、自启动、状态维护等。

3. 总线主要功能指标

总线的主要功能是完成模块间或系统间的通信。因此,总线能否保证相互间的通信通畅是衡量总线性能的关键指标。总线的信息传输过程可分为请求总线、总线裁决、寻址目的地址、信息传送、错误检测几个阶段。不同总线在各阶段所采用的处理方法各异。其中,信息传送是影响总线通信通畅的关键因素。

总线的主要功能指标有以下6种。

(1) 总线宽度

总线宽度是指数据总线的宽度,以位数为单位。如16位总线、32位总线,指的是总线具有16位数据和32位数据的传送能力。

(2) 寻址能力

寻址能力是指地址总线的位数及所能直接寻址的存储器空间的大小。一般来说,地址线位数越多,所能寻址的地址空间越大。

(3) 总线频率

总线周期是微处理器完成一步完整操作的最小时间单位。总线频率就是总线周期的倒数,它是总线工作速度的一个重要参数。工作频率越高,传输速度越快。通常用MHz表示,如33 MHz、66 MHz、100 MHz、133 MHz等。

(4) 传输率

总线传输率是指在某种数据传输方式下总线所能达到的数据传输速率,即每秒传送字节数,单位为MB/s,总线传输率为

$$Q = W \times f / N$$

式中:W为数据宽度,以字节为单位即总线位数/8;f为总线时钟频率,以Hz为单位;N为完