

仪表总线 技术及应用

孔德仁 何云峰 狄长安 编著 陈光福 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press

仪表总线技术及应用

孔德仁 何云峰 狄长安 编著
陈光禔 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

仪表总线技术及应用/孔德仁等编著. —北京:国防
工业出版社, 2005. 8

ISBN 7-118-04031-2

I. 仪... II. 孔... III. 总线—仪表—技术
IV. TP336

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 078629 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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 26 $\frac{3}{4}$ 615 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 40.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

任何测量与控制系统中都包含相应的仪表单元,仪表单元是测量与控制系统的重要基础,是实现各种测量与控制的手段和条件。随着科学技术的发展,对测量与控制系统中仪表单元的要求越来越高,仪表技术亦产生了重大的变化,虚拟仪器技术已成为当今仪器技术发展的主要方向。

虚拟仪器技术从总体上说包括两个基本要素,即硬件和软件。虚拟仪器技术涉及到计算机软硬件技术、仪器及仪表总线技术、网络通信等多个学科。本书的内容体系是以仪器仪表常用的总线技术为主线索,从仪表总线的构成、特点、相关的机械规范及电子电气规范角度分别讨论常用计算机总线及仪表总线。

本书内容分为2篇,共10章。第一篇为常用仪表总线技术基础;第二篇为常用仪表总线应用篇。

本书的第1章介绍了仪表与自动测试技术的发展、仪表总线技术概述及仪器与自动测试系统的发展趋势;第2章详细介绍了有关总线的基本概念及常用计算机总线技术,如STD总线、XT/ISA/EISA总线、RS-232C/RS-422/RS-485总线、USB总线及IEEE 1394总线;第3章详细介绍了PCI总线的特点及其系统结构、PCI总线信号定义、PCI总线操作、PCI总线协议、PCI总线数据传输过程、PCI地址空间及设备选择、PCI总线配置及实现技术、PCI中断响应周期、中断共享及仲裁、PCI BIOS与PCI-PCI桥及Compact PCI总线技术;第4章介绍了GPIB总线的基本特性及总线结构、基本接口功能、GPIB总线系统中消息及传递、总线联络基本过程及IEEE 488.2标准;第5章详细介绍了VXI总线技术,主要包括:VME总线技术规范、VXI总线系统的机械与电气特性、VXI总线系统结构、VXI总线即插即用规范及VXI总线自动测试系统的集成;第6章针对PXI总线技术介绍了PXI总线规范结构及其特点、PXI总线机械规范、PXI总线电气规范、PXI总线软件规范、PXI机箱与控制器,以及基于PXI总线的仪器及测试系统的组建方法;第7章围绕虚拟仪器的组成方法及其特点,详细介绍了虚拟仪器的概念、组成、特点及其设计要领,介绍了常用虚拟仪器的软件标准及虚拟仪器的软件开发环境,并以大量的应用例介绍了虚拟仪器的设计方法;第8章、第10章以工程应用例为背景,分别举例说明了基于PCI总线、PXI总线的虚拟仪器的组建方法及硬件、软件的配置方法,以便读者在较短的时间内熟悉各类仪表总线在实际测量与控制、仪表领域内的应用;第9章介绍了几种基于VXI总线的模块设计方法及其应用。

第1、2、3、4、5、6、7章由孔德仁、何云峰编写,第8、9、10章由狄长安、孔德仁编写,全书由孔德仁主编并统稿。

在编写过程中,得到了成都电子科技大学陈光祜教授的悉心指导,陈教授对本书的架

构及编写内容提出了建设性的宝贵意见,并在百忙之中审阅了全文,提出了许多修改意见,在此,作者们向陈教授表示诚挚的感谢。

在本书的编写过程中,参考或引用了国内外许多专家学者的论著及教材,南京理工大学的同行专家也提出了许多宝贵的意见及建议,在此表示衷心的感谢。编著者的研究生缪烨、季卫荣、吴海州、黎煊、李岭辉、迟荣红、黄鸣敏、李言华、段振伟等参与绘制了书稿中的图稿,并完成了书稿的录入工作,在此表示感谢。

由于时间仓促,加上编著者的学识水平有限,书中可能存在缺点、错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者
2005年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 仪表与自动测试技术的发展概况	1
1.1.1 仪表技术的发展概况	1
1.1.2 自动测试技术的发展概况	3
1.2 仪表总线技术概述	5
1.2.1 总线的基本规范及性能指标	5
1.2.2 总线的分类	7
1.2.3 具有总线系统的仪表的特点	8
1.2.4 仪表专用总线	8
1.3 仪器与自动测试系统的展望	11

第一篇 仪用总线基础知识

第 2 章 常用计算机总线技术	13
2.1 概述	13
2.1.1 总线和接口标准的含义	13
2.1.2 总线和接口标准的分类	14
2.1.3 总线的组成	15
2.1.4 总线的性能参数	15
2.1.5 总线层次化结构	17
2.2 STD 总线	18
2.2.1 概述	18
2.2.2 STD 总线信号的定义	19
2.2.3 STD 总线信号功能	20
2.2.4 STD 总线信号时序	21
2.2.5 STD 总线的应用	22
2.3 XT/ISA/EISA 总线	23
2.3.1 XT/ISA/EISA 总线概述	23

2.3.2	XT/ISA/EISA 电气规范	24
2.3.3	XT/ISA 总线的机械规范	33
2.3.4	PC - 104 总线	33
2.4	RS - 232C/RS - 422/RS - 485	34
2.4.1	RS - 232C 接口标准	34
2.4.2	RS - 422 接口标准	41
2.4.3	RS - 485 接口标准	43
2.4.4	几种标准的比较	44
2.5	USB 总线	44
2.5.1	概述	44
2.5.2	USB 设备及其描述	46
2.5.3	USB 系统组成和拓扑结构	47
2.5.4	USB 的数据传输	49
2.5.5	USB 设备接入和开发	52
2.6	IEEE 1394 总线	53
2.6.1	概述	53
2.6.2	IEEE 1394 拓扑结构	54
2.6.3	地址分配	56
2.6.4	协议结构	56
2.6.5	通信模型	57
2.6.6	线缆和连接器	58
第 3 章	PCI 总线技术	61
3.1	PCI 总线的特点及系统结构	61
3.1.1	PCI 总线的主要性能	61
3.1.2	PCI 总线的特点	61
3.1.3	PCI 总线的系统结构	62
3.1.4	PCI 总线规范简介	63
3.2	PCI 总线信号定义	64
3.2.1	系统信号定义	65
3.2.2	地址和数据信号	65
3.2.3	接口控制信号	66
3.2.4	仲裁信号	67
3.2.5	错误报告信号	67
3.2.6	中断接口信号	67
3.2.7	其他可选信号	68
3.3	PCI 总线操作	72

3.3.1	PCI 总线操作命令编码	72
3.3.2	PCI 总线命令简介	73
3.3.3	PCI 总线命令使用规则	75
3.4	PCI 总线协议	76
3.4.1	协议简介	76
3.4.2	PCI 总线的传输控制	77
3.4.3	PCI 的编址	78
3.4.4	字节对齐	79
3.4.5	总线的驱动与过渡	79
3.5	PCI 总线数据传输过程	80
3.5.1	PCI 总线上的读操作	80
3.5.2	PCI 总线上的写操作	81
3.5.3	PCI 总线传输的终止过程	82
3.6	PCI 设备选择	83
3.7	PCI 总线配置及实现技术	84
3.7.1	配置空间的组织	84
3.7.2	配置空间的功能	85
3.7.3	配置空间的访问	92
3.8	PCI 中断响应周期、中断共享及仲裁	95
3.8.1	PCI 中断的响应周期	95
3.8.2	PCI 中断响应共享	95
3.8.3	PCI 总线仲裁	97
3.9	PCI BIOS 与 PCI - PCI 桥	98
3.9.1	PCI BIOS	98
3.9.2	PCI - PCI 桥简介	101
3.10	Compact PCI 总线技术	104
3.10.1	概述	104
3.10.2	Compact PCI 的机械结构	105
3.10.3	Compact PCI 的电气特性	107
3.10.4	Compact PCI 系统扩展	108
第 4 章	 GPIB 总线技术	109
4.1	概述	109
4.2	GPIB 的基本特性与总线结构	110
4.2.1	基于 GPIB 总线的测试系统	110
4.2.2	GPIB 的基本特性	111
4.2.3	总线的机械结构	112

4.2.4	GPIB 总线信号	113
4.3	基本接口功能	117
4.3.1	十大接口功能	117
4.3.2	器件功能	120
4.3.3	接口功能的子集	120
4.4	GPIB 总线系统中消息及其传递	121
4.4.1	消息分类	122
4.4.2	接口消息及其编码	123
4.4.3	多地址使用情况	132
4.4.4	接口系统的消息传递	133
4.5	三线联络基本过程	135
4.5.1	三线联络的基本原则	135
4.5.2	三线联络的基本过程	135
4.6	IEEE488.2 标准	138
4.6.1	IEEE 488.2 标准的主要内容及目的	139
4.6.2	IEEE 488.2 器件功能命令集	139
4.6.3	IEEE 488.2 控制器	141
4.6.4	IEEE 488.2 的状态报告模型	142
4.6.5	IEEE 488 的性能扩展	144
4.7	GPIB 接口芯片及接口设计	145
4.7.1	GPIB 接口芯片	145
4.7.2	TMS-9914A 可编程 GPIB 接口芯片应用	145
第 5 章	VXI 总线技术	153
5.1	概述	153
5.2	VME 总线技术规范	154
5.2.1	概述	154
5.2.2	VME 总线系统的机械特性	157
5.2.3	VME 总线结构与特点	161
5.2.4	VME 总线控制器	172
5.2.5	VME 总线 M 模块	172
5.3	VXI 总线系统的机械与电气特性	172
5.3.1	VXI 总线系统的机械特性	172
5.3.2	VXI 总线连接器	176
5.3.3	VXI 总线的电气性能	180
5.4	VXI 总线系统结构	188
5.4.1	概述	188

5.4.2	VXI 总线系统器件及操作	190
5.4.3	VXI 总线系统的器件通信协议	223
5.4.4	VXI 总线系统资源与资源管理器	227
5.5	VXI 总线自动测试系统集成	230
5.5.1	概述	230
5.5.2	确定测试要求	230
5.5.3	确定系统体系结构	230
5.5.4	测试设备选择	233
5.5.5	软件设计与开发	236
5.6	VXI 总线即插即用规范简介	238
5.6.1	概述	238
5.6.2	VPP 系统框架	240
5.6.3	VXI 总线即插即用仪器驱动器规范	242
5.6.4	虚拟仪器软件体系 VISA	245
5.6.5	虚拟仪器软面板	248
第 6 章	PXI 总线技术	250
6.1	概述	250
6.1.1	PXI 总线的提出	250
6.1.2	PXI 系统与 VXI 系统比较	251
6.2	PXI 总线规范结构描述及其特点	252
6.2.1	PXI 总线规范结构描述	252
6.2.2	PXI 总线的特点	252
6.3	PXI 总线机械规范	253
6.3.1	PXI 总线机械体系结构	253
6.3.2	主要机械特性	256
6.4	PXI 总线电气规范	257
6.4.1	PXI 连接器引脚定义	258
6.4.2	PXI 总线	262
6.4.3	机箱电源规范	268
6.5	PXI 总线软件规范	268
6.5.1	系统软件框架标准	269
6.5.2	PXI 软件体系	269
6.6	PXI 机箱与控制器	270
6.6.1	PXI 机箱	270
6.6.2	PXI 系统控制器	271
6.7	PXI 仪器及测试系统组建	272

6.7.1 PXI 仪器	272
6.7.2 基于 PXI 总线仪器系统的组建	273
6.7.3 基于 PXI 总线的通用测试分析系统	275
第 7 章 虚拟仪器技术	277
7.1 概述	277
7.1.1 虚拟仪器的概念	277
7.1.2 虚拟仪器的组成	279
7.1.3 虚拟仪器的特点	279
7.1.4 虚拟仪器的设计与实现步骤	281
7.2 虚拟仪器的软件标准	283
7.2.1 概述	284
7.2.2 程控仪器标准命令 SCPI	289
7.2.3 IVI 仪器驱动器	296
7.3 虚拟仪器软件开发环境	300
7.3.1 概述	300
7.3.2 LabWindows/CVI 简介	301
7.3.3 LabVIEW 简介	318
7.3.4 Agilent VEE 简介	325
7.4 虚拟仪器设计	329
7.4.1 虚拟仪器的构成形式	329
7.4.2 基于网络的虚拟测试系统	331
7.4.3 虚拟仪器的综合实验	338

第二篇 仪表总线技术的应用

第 8 章 基于 PCI 总线的虚拟仪器系统	342
8.1 概述	342
8.2 基于 PCI 总线的航空发动机燃气涡轮动态信号检测	342
8.2.1 PCI-10016 数据采集卡	343
8.2.2 TOP 实时存盘控制卡	347
8.2.3 基于 PCI-10016 的航空发动机燃气涡轮动态信号测试系统	348
8.3 基于 PCI 总线的便携式测试系统	351
8.3.1 硬件组成及性能特点	351
8.3.2 系统特点	354
8.3.3 系统软件简介	355

8.3.4 应用例——基于 DEWE-2010 的虚拟弹道测试系统	356
8.4 PCI 总线在导弹测试系统中的应用	359
8.4.1 系统硬件设计	360
8.4.2 系统软件设计	360
8.4.3 讨论	362
第 9 章 基于 VXI 总线的仪器模块及其应用	363
9.1 JV53112 并行数据采集模块	363
9.1.1 模块功能	363
9.1.2 模块工作原理及寄存器信息	364
9.1.3 软件设计	370
9.1.4 JV53112 模块技术特点	371
9.1.5 模块应用例	372
9.2 JV53413 扫描数据采集模块	374
9.2.1 模块功能	374
9.2.2 SCP 模块及模块工作原理	374
9.2.3 软件设计	375
9.2.4 JV53413 模块的技术特点	377
9.2.5 模块应用例	378
9.3 JV53202 任意波形函数发生器	381
9.3.1 模块功能	381
9.3.2 工作原理	382
9.3.3 软件设计	390
9.3.4 技术特点	392
9.3.5 模块应用例	392
第 10 章 基于 PXI 总线的虚拟仪器系统	394
10.1 基于 PXI-50612 的军工靶场综合测试系统	394
10.1.1 PXI-50612 高速数据采集模块	394
10.1.2 应用例	397
10.2 基于 PXI 总线的海底管线检测系统	402
10.2.1 硬件集成	402
10.2.2 软件系统	404
10.3 基于 PXI 总线的鱼雷测试设备计量系统	405
10.3.1 系统硬件构成	405
10.3.2 基于数据库的测试软件设计	406
10.4 基于 PXI 总线的导弹自动测试系统	407

10.4.1 系统组成	407
10.4.2 系统软件结构	408
10.5 基于 PXI 总线的分布式网络化测控系统	409
10.5.1 概述	409
10.5.2 系统组成	410
10.5.3 数据采集系统	410
10.5.4 速压控制系统及位置控制系统	411
参考文献	413

第 1 章 绪 论

1.1 仪表与自动测试技术的发展概况

1.1.1 仪表技术的发展概况

任何测量与控制系统都包含一定的检测技术及相应的仪表单元,仪表单元是测量与控制系统的重要基础,是实现各种测量与控制的手段和条件。随着现代科学技术的发展,仪表技术发生了很大的变化。

从仪表所采用的电子器件看,仪器仪表经历了真空管、晶体管和集成电路三个时代。从组成结构、工作原理及功能特点等方面看,仪器仪表经历了模拟式、数字式、智能仪器、个人仪器及虚拟仪器等发展阶段。模拟式仪表的特点是功能简单、精度低、响应速度慢,如指针式的电压表、电流表、功率表;数字式仪器仪表的基本特点是:将待测的模拟信号转换成数字信号进行测量,测量结果以数字形式输出显示并向外传递。典型的数字式仪表有数字万用表、数字频率计等。数字式仪器具有精度高、响应速度快、读数清晰、直观,测量结果可打印输出,便于与计算机技术相结合等特点。此外,数字信号便于远距离传输。智能仪器是在数字化的基础上发展起来的,是计算机技术与仪器仪表相结合的产物。20 世纪 70 年代以来,随着微处理器和计算机技术的发展,微处理器或微机被越来越多地嵌入到测量仪器中,构成了所谓的智能仪器或灵巧仪器(Smart Instrument)。智能仪器实际上是一个专用的微处理器系统,一般包含有微处理器电路(CPU、RAM、ROM 等)、模拟量输入输出通道(A/D、D/A、传感器等)、键盘显示接口、标准通信接口(GPIB 或 RS-232)等。智能仪器使用键盘代替传统仪器面板上的旋钮或开关,对仪器实施操作与控制,使得仪器面板布置与仪器内部功能部件的分布不再互相限制和牵连;利用内置微处理器强大的数字运算和数据处理能力,智能仪器能够实现量程自动转换、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;智能仪器一般都带有 GPIB(General Purpose Interface Bus)或 RS-232 接口,具备可编程功能,可方便地与其他仪器实现互联,组成复杂的自动测试系统。

随着计算机技术的发展,在仪表技术领域引起了一场革命,出现了“计算机就是仪器”的提法。近年来,智能仪表已开始从较为成熟的数据处理向知识处理发展,如某些智能仪表已具有模糊判断、故障诊断、容错、多传感的数据融合等功能。

个人仪器(Personal Instrument)亦称为 PC 仪器(PC Instrument)或卡式仪器,在个人仪器或个人仪器系统中,通用的个人计算机代替了各台智能仪器中的微机及其键盘、显示器等人机接口,由插入个人计算机扩展槽或仪器扩展箱中的插卡或模块来实现仪器功能,这些仪器插卡或模块通过 PC 总线直接与计算机相连。个人仪器充分利用了 PC 机的软件和硬件资源,相对于传统仪器,大幅度地降低了系统成本,缩短了研制周期。因此,个人

仪器的发展十分迅速。

个人仪器最简单的构成形式是将仪器卡直接插入 PC 机的总线扩展槽内。这种构成方式结构简单、成本很低,但缺点是 PC 机扩展槽数目有限,机内干扰比较严重,电源功率和散热指标也难以满足重载仪器的要求。此外,PC 总线也不是专门为仪器系统设计的,不能实现仪器间的直接通信及触发、同步、模拟信号传输等功能。因此,这种卡式个人仪器的性能不是很高。

美国 HP(Hewlett Packard)公司为克服 PC 仪器的上述缺点,于 1986 年推出了 6000 系列模块式 PC 仪器系统,采用外置 PC 机的独立仪器机箱及独立的电源系统,设计了仪器总线 PC-IB,研制了具有 PC-IB 总线接口的个人仪器组件,如数字万用表、通用计数器、函数发生器、数字 I/O、数字示波器等。其结构特点是将一块专用接口卡插入 PC 机扩展槽中,通过 PC-IB 总线实现 PC 机与外部仪器组件的连接。

个人仪器系统以其突出的优点显示了它强大的生命力。然而,由于各厂家在生产个人仪器时没有采用统一的总线标准,不同厂商的机箱、模块等产品之间兼容性很差,在很大程度上影响了个人仪器的进一步发展。1987 年 7 月,Colorado Data system、HP、Racal Dana、Tektronix 和 Wavetek 五家公司成立的一个专门委员会颁布了用于通用模块化仪器结构的标准总线——VXI(VMEbus Extensions for Instrumentation)总线的技术规范。VXI 总线是在 VME 计算机总线的基础上,扩展了适合仪器应用的一些规范而形成的。VXI 总线是一个公开的标准,其宗旨是为模块化电子仪器提供一个开放的平台,使所有厂商的产品均可在同一个主机箱内运行。VXI 总线是计算机技术、数字接口技术与电子仪器测量技术相结合的产物,它集中了工业标准 VME 总线高速通信和 GPIB 接口易于组合、程控简单的特点,实现了模块仪器结构。与传统军用测试系统采用的机架式结构相比,由各种 VXI 仪器模块组成的军用测试系统体积更小、功能更强、开放性更好、使用更灵活,并且 VXI 系统设计充分考虑了抗振、冷却、抗干扰等可靠性指标,适用于机动与现场条件下的高可靠性工作。1992 年 IEEE 正式制定了关于 VXI 总线的国际标准 IEEE 1155。1995 年 VXI 即插即用(VXI Plug & Play)标准的推出,为 VXI 仪器驱动器的标准化提供了依据,也使得 VXI 仪器朝实现虚拟仪器方向迈出了重要的一步。

所谓虚拟仪器(Virtual Instrument,简称 VI),就是用户在通用计算机平台上,根据需求定义和设计仪器的测试功能,使得使用者在操作这台计算机时,就像是在操作一台自己设计的测试仪器一样。虚拟仪器概念的出现,打破了传统仪器由厂家定义,用户无法改变的工作模式,用户可以根据自己的需求,设计自己的仪器系统,在测试系统和仪器设计中尽量用软件代替硬件,充分利用计算机技术来实现和扩展传统测试系统与仪器的功能。“软件就是仪器”是虚拟仪器概念最简单,也是最本质的表述。

测试仪器种类很多,功能也各异。但不论是何种仪器,其组成都可以概括为信号采集与控制单元、信号分析与处理单元和结果表达与输出单元等三部分。由于传统仪器的这些功能单元基本上是以硬件或固化的软件形式存在,因此只能由生产厂家来定义、设计和制造。从理论上而言,在通用计算机平台上增加必要的信号采集与控制硬件,就已经具备了构成测试仪器的基本条件,关键是根据仪器的功能要求设计开发具有数据采集、控制、分析、处理、显示功能,并且支持灵活的人机交互操作的系统软件。

虚拟仪器概念最早是由美国国家仪器公司(National Instruments,简称 NI)在 1986 年

提出的,但其雏形可以追溯到 1981 年由美国西北仪器系统公司推出的以 Apple II 为基础的数字存储示波器。这种仪器与个人计算机的概念相适应,当时被称为个人仪器。个人仪器的设计思想代表了仪器技术与计算机技术相结合的发展趋势,但是由于当时计算机软件发展水平的限制,编写个人仪器的驱动程序和人机交互界面是一项专门的技术工作,须由专业厂商才能完成,这种状况使得个人仪器的推广与应用没有形成工业标准。从 20 世纪 80 年代中期开始,微软公司 Windows 操作系统的出现,使得计算机系统的图形支持功能得到很大提高。1986 年,NI 公司推出了图形化的虚拟仪器编程环境 LabVIEW,标志着虚拟仪器设计软件平台基本成型,虚拟仪器从概念构思变为工程师可实现的具体对象。

需要特别指出的是:虚拟仪器实质上是一种创新的仪器设计思想,而非一种具体的仪器。换言之,虚拟仪器可以有各种各样的形式,完全取决于实际的物理系统和构成仪器数据采集单元的硬件类型。但是有一点是相同的,那就是虚拟仪器离不开计算机控制,软件是虚拟仪器设计中最重要,也是最复杂的部分。

在虚拟仪器发展初期,虚拟仪器结构形成主要有三种:基于 GPIB 总线、PC-DAQ 或 VXI 总线,但这三种系统却都有各自的不足之处。GPIB 实质上是通过计算机实现对传统仪器功能的扩展和延伸,数据传输速度较低;PC-DAQ 直接利用了 ISA 总线或串行总线,没有定义仪器系统所需的总线;VXI 系统是将用于工业控制的 VME 计算机总线而建立的,价格昂贵,适用于大型或复杂仪器系统,应用范围集中在航空、航天、国防等领域。为适应虚拟仪器用户日益多样化的需求,1997 年 9 月,NI 公司推出了一种全新的开放式、模块化仪器总线规范——PXI(PXI Extensions for Instrument),直接将 PC 机中流行的高速 PCI(Peripheral Component Interconnect)总线技术、Microsoft Windows 操作系统和 CompactPCI(坚固 PCI)规范定义的机械标准巧妙地结合在一起,形成了一种性价比极高的虚拟仪器系统。CompactPCI 是将 PCI 电气规范与耐用的欧洲卡机械封装及高性能连接器相结合的产物,这种结合使得 CompactPCI 系统可以拥有多达 7 个外设插槽。在享有 CompactPCI 的这些优点的同时,为了满足一些高性能的需求,PXI 规范还提供了触发总线、局部总线、系统时钟等资源,并且使得 PXI 产品与 CompactPCI 产品可以双向互换。目前,PXI 模块仪器系统以其卓越的性能和极低的价格,吸引了越来越多的虚拟仪器界工程技术人员关注。

1.1.2 自动测试技术的发展概况

以计算机为核心,在程序控制下,自动完成特定测试任务的仪器系统称为自动测试系统(Automatic Test System, ATS)。ATS 最早是为适应多点自动巡回检测的需要而开发的。采用计算机技术之后,ATS 有了极大的发展,不但可以快速自动地完成上百个物理参数和开关状态的巡回检测,而且具有过程监测、数据分析、故障诊断及预测等多项功能。自动测试系统的研制工作最早可追溯到 20 世纪 50 年代美国为解决军用电子设备维护中遇到的问题而开展的 SETE 计划。到 20 世纪 60 年代,计算机开始用于测试领域,自动测试技术也得到了迅速的发展及普遍应用。自动测试系统的发展大致可分为三个阶段,即专用型、积木型及集成型的模块化仪器。

1.1.2.1 专用型——第一代自动测试系统

早期的自动测试系统多为针对具体测试任务而研制的专用系统,主要用于重复工作量大的测试,或者用于高可靠性的复杂测试,或者用来提高测试速度,或者用于测试人员难以进入的恶劣环境。

第一代自动测试系统至今仍在应用。随着计算机技术的发展,特别是随着单片机与嵌入式系统应用技术及能支持第一代自动测试系统快速组成的计算机总线(如 PC-104)技术的飞速发展,这类自动测试系统已具有新的测试思路、研制策略和技术支持。第一代自动测试系统是从人工测试向自动测试迈出的重要的一步,是本质上的进步,它在测试功能、性能、测试速度和效率,以及使用方便等方面明显优于人工测试,使用这类系统能够完成一些人工测试无法完成的任务。

第一代自动测试系统的缺点突出表现在接口及标准化方面。在组建这类系统时,设计者要自行解决系统中仪器与仪器、仪器与计算机之间的接口问题。当系统比较复杂时,研制工作量很大,组建系统的时间增长,研制费用增加。除此之外,由于这类系统是针对特定的被测对象而研制的,因此系统的适应性不强,改变测试内容往往需要重新设计电路,根本的原因是其接口不具备通用性。由于这类系统的研制过程中,接口设计、仪器/设备选择等方面的工作都是由系统的研制者各自单独进行的,因此系统设计者并未充分考虑所选仪器/设备的复用性、通用性和互换性问题。

1.1.2.2 积木式——第二代自动测试系统

第二代自动测试系统是在标准的接口总线(GPIB, CAMAC)的基础上,以积木方式组建的系统。系统中的各个设备(计算机、可编程仪器、可编程开关等)均为台式设备,每台设备都配有符合接口标准的接口电路。组建系统时,用标准的接口总线电缆将系统所含的各台设备连在一起构成系统。这种系统组建方便,一般不需用户自己设计接口电路。由于组建系统时的积木式特点,使得这类系统更改、增减测试内容很灵活,而且设备资源的复用性好。系统中的通用仪器(如数字万用表、信号发生器、示波器等)既可作为自动测试系统中的设备来用,也可作为独立的仪器使用。应用一些基本的通用智能仪器可以在不同时期,针对不同的要求,灵活地组建不同的自动测试系统。

目前,组建这类自动测试系统普遍采用的接口总线为可编程仪器的通用接口总线 GPIB(General Purpose Interface Bus),在美国也称此总线为 IEEE488, HP-IB。在欧洲、日本常称之为 IEC 625。在我国,人们常称之为 GPIB 或 IEEE 488,并已公布了相应的国家标准(GB249.1—85)。采用 GPIB 总线组建的自动测试系统特别适合于科学研究或武器装备研制过程中的各种试验、验证测试,这种系统已广泛应用于工业、交通、通信、航空航天、核设备研制等多种领域。

基于 GPIB 总线的自动测试系统的主要缺点表现为:

(1) 总线的传输速率不够高(最大传输速率为 1MB/s),很难以此总线为基础组建高速、数据吞吐量大的自动测试系统。

(2) 由于这类系统是由一些独立的台式仪器用 GPIB 电缆串接组建而成的,系统中的每台仪器都有自己的机箱、电源、显示面板、控制开关等,从系统角度看,这些机箱、电源、面板、开关大部分都是重复配置的,它阻碍了系统的体积、质量的进一步降低。这说明,以 GPIB 总线为基础,按积木方式难以组建体积小、质量轻的自动测试系统。而对于