第一章　自动测试系统概论

1.1　什么是自动测试系统

随着科学技术的发展，对电子测量与仪器的要求越来越高。测试项目和测试范围与日俱增,测试对象也逐渐复杂,测试的参数繁多,测试速度和测量精度的要求不断提高,这就使得传统的单机单参数手工测试已经不适应，迫切要求测量技术不断改进与完善。由于电子计算机的发展,大规模及超大规模集成电路的问世,尤其是 20 世纪 70 年代初微处理器的出现,给电子测量带来巨大的冲击和影响,仅仅两年左右,就生产出了通用仪器与微处理器相结合的新型仪器,因为它能完成人的一部分智力劳动,故称智能仪器。但智能仪器并不就等于自动测试系统。如果在一个系统中,有多个智能仪器并有分工,但不包含作为中央控制和处理用的计算机，则只能称为具有分布智能的测试系统。在系统内包含一台计算机或可编程控制器,用来协调系统中各可程控的测量仪器,才能真正构成一个自动测试系统。

通常把以计算机为核心,在程控指令的指挥下,能自动完成某种测试任务而组合起来的测量仪器和其它设备的有机整体称为自动测试系统，简称 ATS(Automatic Test System)。

现代的检测技术、传感技术、显示技术、控制技术、数字信号处理技术的成果,特别是计算机技术与超大规模集成电路的发展与成果,都为自动测试技术提供了条件。显然,高速度、高精度、多参数、多功能的自动测试系统是电子测量与仪器和计算机技术密切结合的产物。

1.2　自动测试系统的组成

一般来说,自动测试系统包括五部分：

1.控制器,主要是计算机,如小型机、个人计算机、微处理机、单片机等,是系统的指挥、控制中心。

2.程控仪器、设备,包括各种程控仪器、激励源、程控开关、程控伺服系统、执行元件,以及显示、打印、存储记录等器件,能完成一定的具体的测试、控制任务。

3.总线与接口,是连接控制器与各程控仪器、设备的通路,完成消息、命令、数据的传输与交换,包括机械接插件、插槽、电缆等。

4.测试软件,为了完成系统测试任务而编制的各种应用软件。例如,测试主程序、驱动程序、I/O 软件等。

5.被测对象,随测试任务不同,被测对象往往是千差万别的,由操作人员采用非标准

需要全本请访问 www.ertongbook.com

方式通过电缆、接插件、开关等与程控仪器、设备相连。

1.3 自动测试系统的发展概况

自动测试系统的研究工作约始于 1956 年美国的 SETE 计划,以解决美国军方在军用电子设备（如航空电子系统和导弹系统等）的维护工作问题。从 20 世纪 60 年代开始,就陆续有民用的成套测试系统投入电子商品市场,但这时的系统多属于非标准的,或者只适用于一个公司的产品，缺乏通用性和互换性。这时的自动测试系统是比较简单的。现在人们称其为第一代自动测试系统。

1.3.1 第一代自动测试系统

第一代自动测试系统常见的有数据采集系统、自动分析系统等。尽管它们比较简单，但已经采用了计算机或其它逻辑、定时电路进行控制，在测试性能和设备功能等方面都比以前的仪器有较大的改善。然而，当时尚未解决系统内各设备间连接用的接口标准化问题。

图 1.1 给出了一个比较简单的数据采集系统的基本方框图。这里控制器产生定时脉冲去触发扫描器,使模拟／数字(A/D)转换器的输入端依次与每一路信号相接。这些信号电平经 A/D转换器转换为数字信号，最后由打印机进行记录。在这种数据采集系统中，控制器只是一种简单的程序器，故只能获取数据。

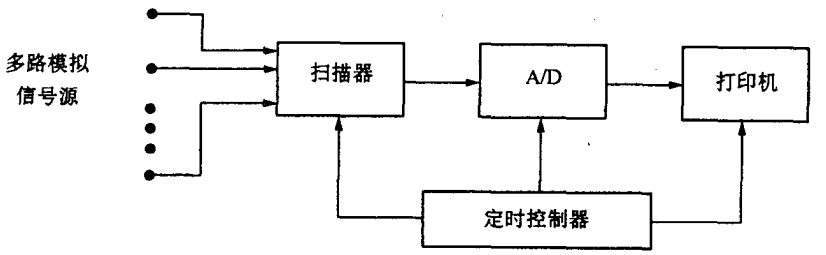


图 1.1 数据采集系统方框图

图 1.2是另一套早期的自动测试系统。该系统包括计算机、可程控仪器等。这里，各组成部分统称为器件(Device)。为了能使各仪器与控制器之间进行信息交换,必须研制接口(Interface)电路。这种接口电路通常安装在一块印刷电路板上,很像一张卡片,插接在专门的接口卡片箱的插槽里。这类接口卡片和接口箱是为该系统专门研制的，不能用于不同功能的其它系统，但参与系统的各仪器却可采用通用仪器。

因此,设计和组建这种第一代自动测试系统时,组建者必须自行解决各器件之间的接口和有关问题。当系统比较复杂、需要程控的器件较多时,不但研制的工作量大,费用高,而且系统的适应性很差。

为解决第一代自动测试系统中存在的必须使用专用接口的缺点，研制和发展了具有标准接口总线(Interface Bus,缩写为 IB)系统的第二代自动测试系统。

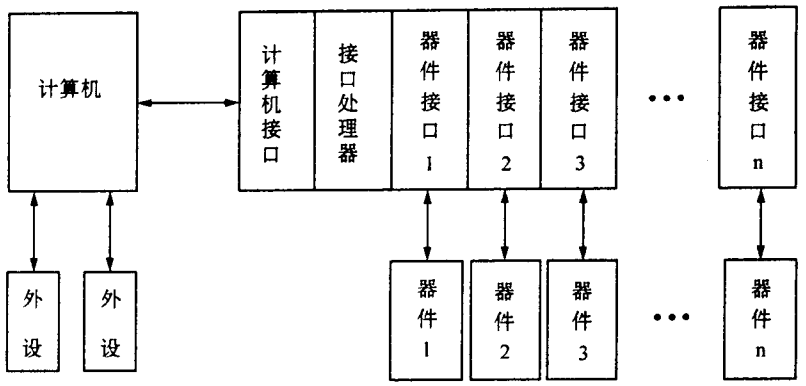


图 1.2　第一代自动测试系统框图

1.3.2　第二代自动测试系统

第二代自动测试系统的特点是采用了标准接口、总线系统，将测试系统中各器件间按规定的形式连接在一起。具有代表性的是 CAMAC 标准接口系统和 IEEE488 标准接口系统。

CAMAC 标准接口系统是一种典型的自动测试系统的总线标准。自 1969 年欧洲电子学标准化委员会正式发表以后，迅速得到欧洲和美国的强烈反响。到 1975 年，欧洲 CAMAC 协会，美国电气及气电子工程师协会(IEEE) 及国际电工委员会(IEC)也相继宣布接受 CAMAC 标准，并发布了各自的文本(IEEE583 和 IEC516 标准)。

CAMAC 标准接口系统的特点主要是标准化程度高，数传速率较高和系统规模大。广泛用于宇航、核工业、国防、工业自动化等领域。我国在 20 世纪 70 年代末至 80 年代在国防、航天、航空、核工业等领域的较大规模的自动测试系统采用的多为 CAMAC 标准接口的自动测试系统。但由于 CAMAC 标准接口系统造价昂贵，总线没有用于仪器的专用的触发线、相加线，电磁屏蔽等考虑得并不充分，受到当时计算机发展水平的限制，指令传输接近微秒量级，进一步扩充有困难。

IEEE488 标准接口系统是美国 HP 公司于 1972 年提出的一种标准接口、总线系统(最初定名为 HP - IB)，经改进后于 1975 年和 1977 年分别被美国电气与电子工程师学会(IEEE)和国际电工委员会(IEC)所接受，正式颁布了标准文件。IEEE 的标准文件为《可程控仪器的数字接口》，编号为 IEEE488；IEC 的标准化文件为《可程控装置的接口系统》，编号为 IEC625。我国电子工业部于 1985 年颁布了完全等效的接口总线标准，代号为 SJ - 2479.1 - 84 和 SJ - 2479.2 - 84。

凡是按照上述国际通用标准设计制造出来的可程控电子测量设备，不论出自何厂，均可用此标准总线连接起来，在控制器的作用下构成一个自动测试系统。图 1.3 给出了第二代的 IEEE488 自动测试系统的组成方框图。由图可知，除被测对象和电源部分外，自动测试系统主要由计算机系统、测量控制系统(包括传感器、测量仪器、控制执行系统、A/D 与 D/A 转换器等)、接口总线系统三大部分组成。也就是说，计算机、可程控测量仪器和

IEEE488标准接口总线系统是构成第二代自动测试系统的三大支柱。这种第二代自动测试系统有如下特点：

1. 测量过程高度自动化；
2. 在很大程度上提高了测试速度和精度；
3. 可用多次测量和统计平均方法消除系统噪声的影响；
4. 自动修正系统误差；
5. 通过数据处理可直接获得所需的测试结果；
6. 可进行系统诊断；
7. 可以有多种形式的输出方式；
8. 可方便地改变、增删测试内容，并能改建、拆散和重建系统。

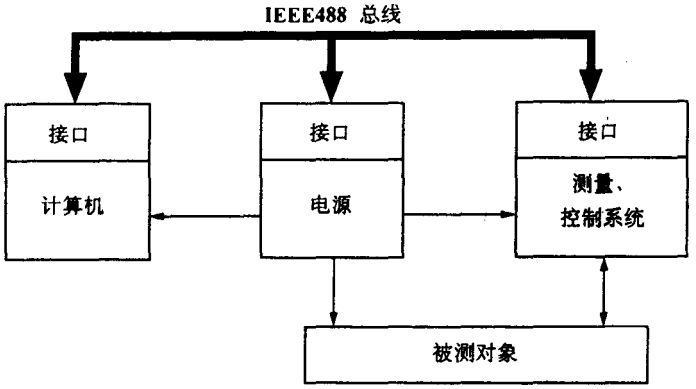


图 1.3　第二代自动测试系统方框图

但是，随着微型计算机和智能仪器的普及，在用 IEEE488 组成的自动测试系统中，包含的键盘、显示器、存储器和一些输出设备越来越多。例如计算机、频谱仪、示波器、网络分析仪中都含有显示器，造成过高的成本。而且冗余的部件往往又不能容错，如某台仪器的存储器容量不够或失效，其它仪器中多余的存储器却不能代替，这也是一种明显的浪费。因此，需要统筹地考虑仪器与计算机之间的系统结构。

在这种情形下，1982年出现了一种新型的微机化仪器，这种仪器是作成插件式的，它需要与个人计算机配合才能工作，因此被称为个人仪器(Personal Instrument) 。它以通用计算机为核心，配以一定的测试硬件电路和应用软件，共同完成测试仪器或仪器系统的任务，与此同时仍保留了个人计算机的全部功能。这种插卡式的新型仪器，能充分利用个人计算机的软、硬件资源，更好地发挥微型计算机的作用，大幅度地降低仪器成本，提高经济效益。它还具有研制周期短、改进更新方便的优点，在组成测试系统和网络方面也有很大潜力。因此，这种插卡式的仪器一出现就受到重视，并得到较快发展。

最初的插卡式仪器把插卡直接插入微机上的总线扩展槽内，结构虽然简单、方便，但难于满足重载仪器对散热和电源的要求，解决屏蔽和地电流引起的噪声也较难，还不能同时连接较多的个人仪器插件。1984 年左右出现的插卡式仪器系统，是从个人计算机向外引出扩展箱或扩展底版，在它上面插入多个仪器插件。扩展箱提供与地隔离的电源，还常

设有总线驱动器、接收器,以满足电源要求和使仪器部分避开个人计算机的噪声环境。这种方式的缺点是仪器插卡部分受计算机类型的束缚。另外，随着集成电路芯片价格的降低和对测试速度要求的提高，插卡式仪器向多 CPU 分布式系统发展，这增加了系统的处理速度，也简化了计算机的编程。1986年前后，HP、Tek 等重要仪器公司相继推出它们的个人仪器系统。图 1.4 是 HP公司的 PC 仪器系统，更换系统中与微机配合的仪器总线接口板,可适应多种计算机。这套系统中仪器模块和接口电路里也使用微计算机、单片计算机和一些专用集成电路(ASIC) ,构成多 CPU 分布式系统，仪器模块与计算机接口之间采用专门的个人计算机仪器总线(PCIB) 连接。

这种插件式的与个人计算机相配合的仪器和仪器系统，以它突出的优点显示出强大的生命力,其品种和产量增长很快。但是,由于它没有统一的标准,各厂家的仪器、设备兼容性很差,用户在组建测试系统时很难选择多个厂家的产品,这严重影响了插卡式仪器的发展。

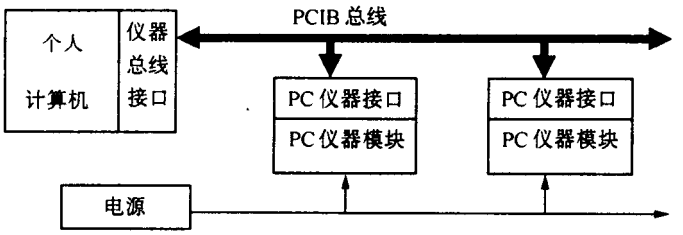


图 1.4　个人仪器系统框图

军方和工业用户对开放结构的模块式（插卡式）仪器提出了越来越迫切的要求，于是 1987 年,由 Colorado Data Systems、Hewlett - Packard、Racal - Dana Instruments、Tektronix 和 Wavetek 等五家公司组成的联合体推出了 VXI 总线规范。VXI 总线规范经过多次的补充和修改,于 1992 年 4 月公布了较完善的规范版本 VXIbus Rev1.4,目前已成为多供货商的开放的国际标准(IEEE - 1155 - 1992)。

1.3.3　VXI 总线自动测试系统

VXI 总线(VXIbus)是 VMEbus eXtensions for Instrumentation 的缩写。即 VME 总线在仪器领域的扩展。其中 VME 总线是在工业控制和生产管理中获得广泛应用的一种性能良好的微机总线。

VXI总线是一种完全开放的，适于多供货厂商环境的模块式仪器行业规范，它是继 IEEE488 总线之后，为适应测量仪器从分立的台式和机架式结构发展为更紧凑的模块式结构的需要,而推出的一种新的总线标准。VXI 总线集中了智能仪器、个人仪器和自动测试系统的很多特长,它不仅性能全面优于 IEEE488 总线系统,而且使自动测试系统的尺寸大大缩小,测试速度大大提高,满足目前自动测试系统向标准化、自动化、智能化、模块化、便携式方向发展的要求。因而,VXI 总线被称为新一代仪器接口总线，标志着测量和仪器系统正进入一个崭新的阶段。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

.4 VXI总线自动测试系统的特点

VXI总线是20世纪90年代乃至21世纪的新型总线,在系统结构及硬、软件开发技术等各方面都采纳了新思想、新技术，有很多特点：

1.测试仪器模块化。在VXI总线上，具有触发总线、模拟总线等测试仪器特有的总线，而且电磁兼容性好，因而数字多用表、信号源、示波器等传统的独立仪器均有相应的VXI总线模块化产品,使得用VXI总线组建的系统结构紧凑、体积小、重量轻,简化了连接和控制关系，有利于提高系统的可靠性和可维修性。而这在其它总线中很难实现。

2. 32位数据总线，数据传输速率高。基本总线数传速度为40 MB/s,本地总线可达1GB/s,远远高于其它测试系统总线的数传速度,如CAMAC总线最高只有1～3MB/s。

3.系统可靠性高，可维修性好。VXI总线C尺寸主机箱平均无故障时间（MTBF)可高达10^7小时,VXI总线模块仪器MTBF一般可做到几万至十几万小时，基本系统的MTBF可达6 000小时。模块化结构与系统强大的自检能力使得可维修性大大提高，一般系统的平均修复时间(MTTR)少于15分钟。

4.电磁兼容性好。VXI总线是在美国军方广泛应用的VME总线的基础上发展起来的，在总线的设计和标准定制中，充分考虑了系统的供电、冷却系统和电磁兼容性能以及底板上的信号传输延迟、同步等，对每项指标都有严格的标准，这就保证了VXI总线系统的高精度及运行的稳定性和可靠性；而且频带宽，现已有从直流到微波各种仪器模块。

5.通用性强，标准化程度高。不仅硬件标准化，而且软件也标准化，有一系列软件标准,如IEEE488.2标准、SCPI标准（可程控仪器的标准命令)、VPP规范(VXI Plug & Play即VXI插入即用规范）等。软件的可维护性与可扩充性好，这也是VXI总线优于其它总线，得到迅速发展的一个重要因素。

6.灵活性强，兼容性好。有三种规格机箱(B、C、D),四种规格模块(A、B、C、D)供用户选择,支持8位、16位、24位和32位的数据传输，方便灵活。

.5 自动测试系统的发展方向

自动测试系统是一门新兴技术,涉及的领域很宽。它将计算机技术、软件技术、智能仪器、总线与接口技术等有机地结合在一起。

今后的自动测试系统将如何发展呢？国内外专家一致认为：今后的自动测试系统将是以计算机为核心的更高层次、更高水平的虚拟仪器系统。

80年代后期，国外提出了一种全新的仪器、仪表概念一虚拟仪器。虚拟仪器概念是对传统仪器概念的重大突破，是计算机与仪器仪表相结合的产物。它利用计算机的强大功能,结合相应的硬件,大大突破了传统仪器仪表在数据传送、处理、显示和存储等方面的限制,使用户可以很方便地对其维护、扩展和升级等。与传统仪器相比,虚拟仪器具有很高的灵活性，用户可以通过编制软件来定义它的功能。概括地说，它主要有以下特点：

1.软件是虚拟仪器的核心

虚拟仪器的硬件确立后，它的功能如 FFT、小波分析等,主要是通过软件来实现的,软件在虚拟仪器中具有重要的地位。正如美国 NI 公司曾经提出的一个著名口号 软件就是仪 器 。

2.虚拟仪器的性价比高

一方面，虚拟仪器能同时对多个参数进行实时高效的测量。同时，由于信号的传送和数据处理几乎是靠数字信号或软件来实现的，所以还大大降低了环境干扰和系统误差的影响。此外，用户也可以随时根据需要调整虚拟仪器的功能，大大缩短了仪器在改变测量对象时的更新周期。另一方面，采用虚拟仪器还可以降低测试系统的硬件环节，从而降低系统的开发成本和维护成本。因此，使用虚拟仪器比传统仪器经济。

3.虚拟仪器具有良好的人机界面

在虚拟仪器中，测量结果是通过由软件在计算机的屏幕上生成的。与传统的仪器面板相似的图形界面即软面板来实现的。因此，用户可根据自己的爱好，通过编制软件来定义所喜爱的软面板形式。

4.虚拟仪器具有与其它设备互联的能力

虚拟仪器具有与其它设备互联的能力，如和 VXI 总线或现场总线等的接口能力，还可以将虚拟仪器接入网络，以实现对现场监控和管理。

虚拟仪器的特点还不止这些，它有许多传统仪器无法比拟的地方，使得虚拟仪器应用领域非常广泛。目前世界上许多国家包括我国在内，大多数的自动测试系统，采用的都为虚拟仪器系统。

虚拟仪器系统主要有两大部分组成：硬件和软件。

a.虚拟仪器系统的硬件

硬件是虚拟仪器工作的基础，主要功能是完成对被测信号的采集、传输和显示测量的结果等。目前，使用的比较多的是数据采集卡、VXI 仪器模块和 PXI 仪器模块等。

硬件标准化、模块化使系统组建方便灵活。模块式结构使系统体积减少、速度提高。

虚拟仪器系统有一个优秀的硬件平台一VXI 总线系统。VXI 总线系统是公认的理想测试平台，它满足了硬件的标准化和模块化，它为虚拟仪器系统的应用提供了广阔的前景。

总线的能力直接影响系统的总体水平，总线是连接控制器与程控仪器的纽带。从自动测试系统的发展看，自动测试水平的提高，在很大程度上是由于总线技术的不断升级换代的结果。从研究与开发的自动测试系统看，掌握总线接口技术、熟悉总线各种标准规范，才能将各种器件组建成系统，实现相容。

b.虚拟仪器系统的软件

软件在虚拟仪器中非常重要，在很大程度上，虚拟仪器能否成功地运行，就取决于虚拟仪器的软件。

测试软件标准化的问题，近年来在自动测试领域软件的重要性越来越受到各国的注意与研究。1987 年 IEEE488.2 的公布、1990 年可程控仪器的标准命令 SCPI 的问世以及 1993 年 VPP规范的发表，对自动测试系统的软件的标准化有深远的影响。

虚拟仪器系统的软件可以分为几个层次，其中包括仪器驱动程序、应用程序和软面板程序。仪器驱动程序主要用来初始化虚拟仪器，设定特殊的参数和工作方式，控制虚拟仪器保持正常的工作状态。应用程序主要用来对采入计算机的数据进行处理，用户就是通过编制应用程序来定义虚拟仪器的功能。软面板程序用来提供软面板程序与用户的接口，它可以在计算机屏幕上生成与传统仪器面板相似的图形界面，用于显示测量结果等。同时，用户还可以通过软面板上的开关和按钮，模拟传统仪器的各种操作，通过键盘或鼠标实现对虚拟仪器的操作。

编写测试软件时，可采用两种编程方法。一种是采用高级语言的方法，即C、VC++、VB,Delphi等编写仪器的软件，或采用集成化、可视化的软件开发平台，如美国 NI公司的软件 Labwindows/CVI；另一种是采用图形化编程方法。如采用 NI公司的 Labview 软件、HP公司的 HP VEE 软件来进行编程。

虚拟仪器系统作为一种基于计算机技术的新型的测试系统，具有功能强、精度高、测量速度快、自动化程度好和良好的人机界面等诸多优点，特别是它高度的灵活性、使得传统的仪器及测试系统望尘莫及。用户可以用虚拟仪器系统来组建适合自己的任何测试系统，再也不必将自己封闭在功能固定、缺乏灵活性而且常常是价格昂贵的传统仪器系统中。可以说虚拟仪器系统的出现正以不可逆转的力量推动测试技术的革命，且对科技发展和工业生产产生不可估量的影响。

第二章　VXI 总线规范

2.1 引言

20 世纪 70 年代以来，微型计算机的问世和大规模集成电路技术的发展使自动测试系统的性能不断提高，结构不断更新，出现了智能仪器（SI）、IEEE488（IEC625）仪器、个人仪器（PCI）和插卡式仪器等。随着科学技术的迅速发展，这些仪器越来越难以适应人们对测试系统的更高要求，于是，在 1987 年 7 月由国际上五家著名的测试和仪器公司组成的联合体共同制定了 VXI 总线规范。这五家公司是 Colorado Data Systems，Hewlett-Packard，Racal-Dana Instruments，Tektronix 和 Wavetek。该联合体于 1987 年 7 月提出了 VXI 总线规范的第一个版本，几经修改和完善，于 1992 年 9 月 17 日经 IEEE 标准局批准为 IEEE－1155－1992 标准。

VXI 是 VMEbus eXtensions for Instrumentation 的缩写，即 VMEbus 在仪器领域的扩展。其中 VMEbus（Versabus Modular European）是在工业控制和生产管理中获得广泛应用的一种性能良好的微机总线。VXIbus 规范是一种在世界范围内完全开放的、适用于多供货厂商环境的模块式仪器的行业规范。自从 1987 年这个规范诞生以来，VXIbus 测试系统以其小型便携、高速数传、模块式结构、系统组建及使用灵活方便，易于充分发挥计算机效能和标准化程度高等诸多优点，显示了强大的生命力，迅速站稳脚跟。国外的许多重要仪器制造厂商将激烈的竞争置之度外，联合起来开发这种新的标准，人们称 VXIbus 为 20 世纪末乃至 21 世纪的仪器总线和未来仪器舞台的新一代仪器接口总线。它刚一出现就引起了各仪器生产厂家和用户的注视。到目前为止，注册登记接受 VXIbus 规范的厂家就已有几千家，其速度之快，范围之广远远超出以往的任何仪器接口总线标准。毫无疑问，VXIbus 系统的出现和推广，标志着测量和仪器系统正进入一个崭新的阶段。

VXIbus 如此受欢迎，首先是因为它适应了科学技术发展对仪器的需要。VXIbus 充分利用了现代计算机技术，将其融和到测量仪器中，既不像 IEEE488 系统那样只将计算机当做简单的控制器，又避免了个人仪器（PCI）过分依赖于计算机而对仪器使用和组建系统缺乏兼容性的问题。32 位的数据总线和高达 40 兆字节／秒的数据传输速率为高精度、高速度的现代测试需要提供了良好的硬件环境。VXIbus 系统的工作频率为从直流到射频，能满足所有低频测量要求。另外，VXIbus 系统还提供了较好的冷却、电磁兼容环境，为高质量的测试提供了一定的保证。

其次，VXIbus 适应市场的需要，能为厂家和用户普遍接受。在军事部门、通信工程、铁路交通、河海航运和石油采矿等单位，迫切需要这种产品。这是因为这些部门大多工作点分散、测试条件相差悬殊，而对所测内容和质量通常又有某些统一要求 VXIbus 系统中

各器件可以共享电源、时钟电路、公用机架、冷却系统等硬件资源，减少了体积，因而在这种情况下其小型便携成为突出优点，一个 13 槽 VXIbusC 尺寸主机箱重约 18 公斤，模块典型重量约 1 公斤，体积与一台仪器差不多，功耗也较小。而作用相同的十三台分立式或装架堆叠式仪器可能需要二、三辆吉普车运输。再加上 VXIbus 系统牢固抗震、模块插换方便、各种操作均由微机自动控制、对系统组建和操作人员技术要求不高，所以对上述军事等部门十分适应。另外，VXIbus 系统允许在一个主机箱上安装来自不同厂家的仪器、接口板或计算机，用户可按需要选择性能和价格适当的不同厂商的模块和主机箱。 VXIbus 系统能使它们组成的系统协调地工作。这样就可以最优化、最便利地组建一个高性能的仪器系统，方便了用户。因此 VXIbus 的出现是自动测试系统发展的必然。

在发达国家，自动测试系统受到军方的高度重视。以美国为例，其陆海空三军都制定了相应的自动测试计划。陆军制定了中间级战场测试设备（IFTE）计划。IFTE 系统可用于几乎所有主要类型的陆军武器装备，为了提高系统的灵活性和适应能力， IFTE 约有 18 种 90 个 VXI 模块，通过不同的模块组合可灵活地构成所需的战场测试设备。空军制定了模块化自动测试设备（MATE）计划，其目的是采用通用的硬件模块组成各种测试系统。海军也制定了名为 CASS 的计划。此外，美军正积极研究将人工智能应用在战场的测试设备中，使其在未来的战场上发挥重要作用。美军的测试计划极大地推动了自动测试科学，特别是 VXI 总线自动测试系统的发展。

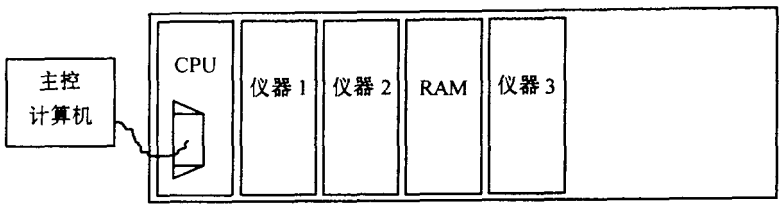
VXI 总线技术除了已经在美国军方普遍应用，近几年已经渗透到电力、汽车、通讯、音像、计算机和半导体等工业领域。据美国 HP 公司的报告，近三年来他们集成的 VXI 总线控制系统近 1 000 套。

我国对 VXI 总线技术的研究起步较晚，但发展较快，现已从引进消化的基础上进入自行研制开发阶段，如北京中国航天总公司测控公司从事 VXI 总线模块和系统研究工作；上海航天局第八零九所从事 VXI 总线主机箱的研制；哈工大自动化测控研究所自 20 世纪 80 年代末就对 VXI 总线技术进行了系统研究，开发了 VXI 总线 B 尺寸、C 尺寸系列模块，并在八五期间与航天工业总公司第三十五所共同研制了国内第一套 VXI 总线末制导雷达自动测试系统，于 1999 年研制成功了 VXI 总线嵌入式计算机，无论是在模块设计、系统软件的编写、软硬件标准化以及系统集成方面都作了大量工作，积累了大量经验。国内 VXI 总线的发展正方兴未艾，已引起军方、航天、航空等有关部门的高度重视。在这些部门的推动下，开发了一批 VXI 模块，并已集成了若干套 VXI 自动测试系统。但是，这些系统的国产化程度还不高，有待于国内各研究生产部门进一步开发高性能 VXI 总线产品，以满足研制和组建我国自己的高性能自动测试系统的需要，并进而将其扩展到更多领域。

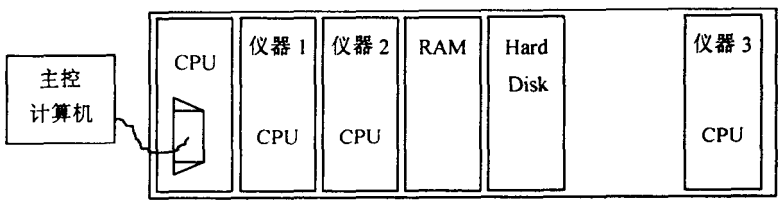
2.2 VXI 总线系统结构

VXIbus 系统是一种计算机控制的功能系统，一般是由主计算机，VXIbus 主机箱和 VXIbus 模块组成，图 2.1 给出了几种典型的 VXIbus 系统结构实例，由图中可以看出，VXIbus 系统可以是单 CPU 的（图 a），也可以是多 CPU 的（图 b、c、d、e），主计算机可以在主机箱外部，通过某种电缆及接口与主机箱相连（图 a、b、d、e），也可以在主机箱内部，称为内嵌式

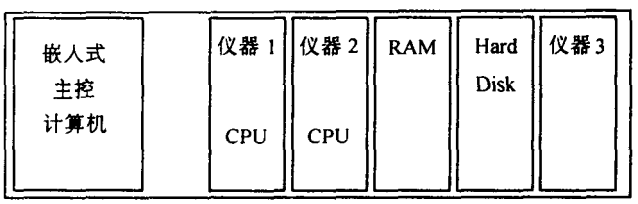
主计算机(图 c),系统还可以是一种分层结构仪器系统(图 d),另外,系统可以由多个主机箱构成，其中每个主机箱和其中的模块构成一个 VXIbus 子系统(图 e)。



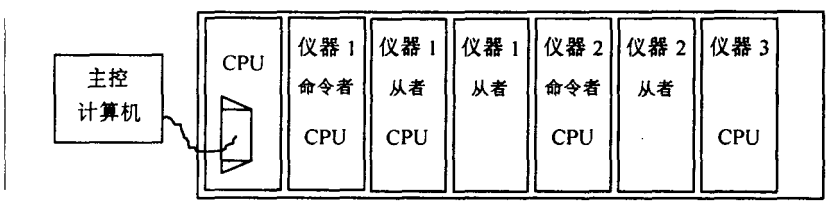
a.单 CPU 系统



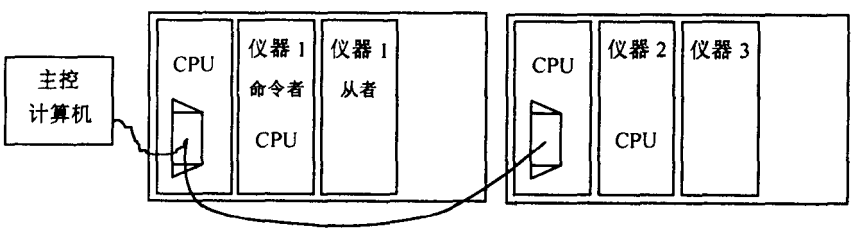
b.多 CPU 系统



c.独立系统



d.分层仪器系统



e.多机箱系统

图 2.1 VXI 总线系统的几种典型结构

组成 VXIbus 系统的基本逻辑单元称为“器件”。一般来说,一个器件占据一块 VXIbus 模块,也允许在一块模块上实现多个器件或者一个器件占据多块模块。计算机数字多用

需要全本请访问 www.ertongbook.com

表、多路开关、信号发生器和计数器等都可做为器件存在于 VXIbus 系统中。一个 VXIbus 系统由一个或多个子系统组成，在每个 VXIbus 子系统中 0槽模块向其它模块提供公用资源。另外，在 VXIbus 系统中，资源管理器(在 0槽模块中)作为系统配置的管理者，是系统正常工作的基础。

2.2.1 VXI 总线系统的主计算机及其接口

VXIbus系统的主计算机(HOST) 是用来控制整个系统的，也可以称为主控计算机。由于 VXIbus 系统中没有传统仪器的控制面板，各个仪器模块也不能独立工作，所以主计算机不仅用来控制、协调各仪器的工作，而且还参与各仪器的工作，提供仪器软面板，人们可以利用计算机的强大的图形能力和其它丰富的软件来进行操作和控制。

由图 2.1 可见，VXIbus 系统的主计算机可分为外部的和内嵌式的两种。

一、外主计算机控制方式

在使用外主控计算机的情况下，一个 VXIbus 系统不但需要一个运行应用程序的系统控制者和一至数个 VXIbus 子系统，而且还需要考虑系统控制器与 VXIbus 之间的接口，采用外主计算机的系统结构如图 2.2 所示，图中计算机接口首先把程序中的控制命令转变为接口链路的信号，接着通过接口的链路进行传输，最后 VXIbus 接口再把接收到的信号转变成 VXIbus 命令。例如用一台带有 IEEE488接口的计算机作为外主计算机，它的 IEEE488 接口先把程序中的控制信号变为 IEEE488 信号，并经过 IEEE488 总线传输至 VXIbus 子系统，子系统上要装有 VXIbus 接口，这就是 IEEE488/VXI 翻译器，它把 IEEE488 信号转变成 VXIbus 系统可执行的 VXIbus 命令。

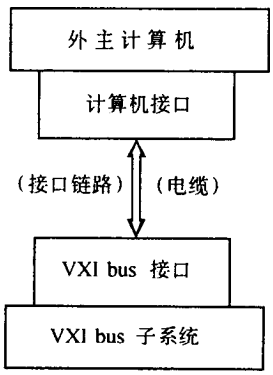


图 2.2 采用外部主计算机的 VXIbus 系统结构

选择接口时应该考虑三个关键因素，即数据传输速度 允许的控制器与 VXIbus 子系统的距离和能否对多个 VXIbus 子系统控制。下面讨论几种最常见的接口及其有关特点。

1. GPIB 接口

GPIB 接口又称为 IEEE488(采用 24线电缆)或 IEC625(采用 25 线电缆)接口，它是仪器程控中应用最广泛，并为测试人员普遍熟悉的一种接口。其数据总线有 8条，通过三线挂钩的方法，用位并行、字节串行的方式传输数据。数传速率不超过 1 Mbytes/s ，一般低于 100 kbytes/s。电缆长度不超过 20 米，通常最多只能对 15 个器件寻址。GPIB 接口使编程人员处于 GPIB 编程环境，可利用现成的 GPIB 控者，并有大量成熟的应用程序可供参考，目前在采用外主计算机的情况下这种接口应用较多。

2. RS - 232C 接口

RS - 232C是一种串行接口，几乎每台计算机都有这种接口，并且广泛用于打印机、绘图仪和各种终端。RS - 232C 通常是点对点的单线串行传输，一般只包含两个器件，最大电缆长度为 15 米，它的数传速率也较低，只有 19.2 kbits/s。但是这种接口也有它突出的

优点,首先,它允许使用更多的计算机和终端,因为它们都具有这种接口 其次,大量的计算机语言提供对这种接口的支持 第三,通过一定的调制解调可以在较远的距离控制 VXIbus；此外，这种接口的价格也比较低廉。基于上述特点,RS－232C接口常与 GPIB配合使用。例如可在采用 GPIB作主控接口的系统中再采用一个带 RS－232C 接口的计算机进行调试、检测。

3.MXIbus 接口

MXIbus是 Multi－System Extension Interface bus 的缩写，即多系统扩展接口总线，是美国 National Instruments 公司设计并于 1989 年公布的一种开放的总线结构，见图 2.3,它被设计成一种高速、多点的并行总线,采用 62 线标准电缆,其中 49 条信号线用于 MXIbus器件间的数据传输、仲裁、中断和出错检测等功能。电缆最大长度 20 米,有 20 Mbytes/s 的高速数传速率。多个 VXI 主机箱同 MXI－VXI 接口可互相连接形成的多主机箱 VXIbus 系统最多可以将 32 个主机箱连在一起，像一个单独的 VXIbus 主机箱那样工作，从而克服了 VXI 的 13 个槽的限制。它还可以用来连接计算机和那些不能适用于 VXIbus 模块的仪器。近几年 National Instraments公司推出的 MXI－Ⅱ接口,已被国内采用。它的最大优点是 中断实时行性好,速度快,可连接多个 VXI机箱。特别适合于对实时处理要求高，多 VXI机箱的场合。

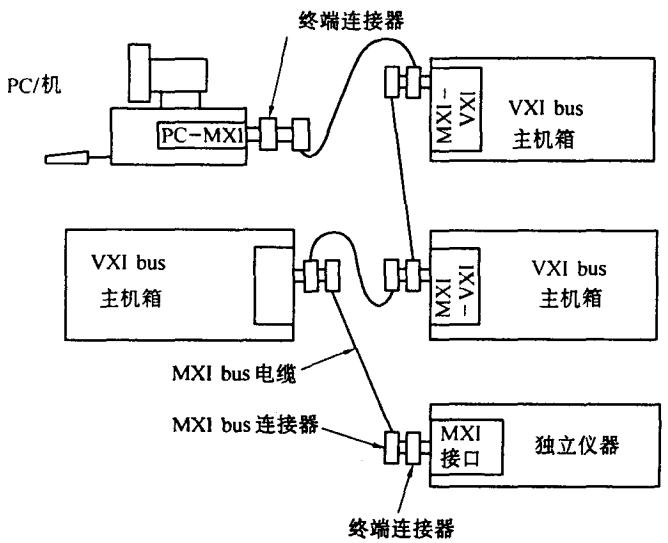


图 2.3 MXIbus 系统

4.IEEE1394 接口

IEEE1394 串行接口是 20 世纪 80 年代由苹果公司提出的,1995 年被 IEEE 接受,最高数传速率为 400 Mbits/s。1394 接口的突出优点是具有热插拔性，可以自动识别，自动组态,实现即插即用。手用 IEEE1394 的 PC－VXI接口,性能好价格便宜,不仅用在单个 VXI机箱的测试系统中,还可连接多个 VXI机箱,组成多个 VXI机箱的测试系统。外主计算机

通过 1394 接口控制 VXI 机箱工作，是目前使用较多的一种控制方式。

5. VMEbus 接口

VMEbus 接口是一种应用较普遍的计算机接口总线。由于 VXIbus 是由它扩展而来的,因此各类 VXIbus 器件都含有 VMEbus 定义的某些功能特征,有些产品还提供了在外主计算机和 VXIbus 子系统间采用 VMEbus 接口的手段。使用这种接口时需要注意信号的对接问题。

二、内嵌式计算机控制方式

当采用内嵌式主计算机时，常采用 VXIbus 或者 VMEbus 的直接寄存器存取方式工作。内嵌式主计算机可以减小系统体积和增加工作速度，但是如果不配置键盘和显示、输出设备，人机交互不够方便。这种方式在技术上是很有吸引力的，因为所有的器件作为一个系统紧密耦合，并且通过共享地址空间进行通讯。由于所有的器件都可以不用象通常那样采用较复杂的通讯协议，而是通过直接寻址访问系统，因而，紧密耦合的结构可得到非常高的性能,充分发挥 VXIbus 数传速度高的优点。

2.2.2 VXI 总线主机箱及模块(Module)

VXIbus 主机箱是为保证各模块恰当地连接到底板而设的。底板 (Backplane)是一块印刷电路板(PCB),其上有 96脚 J型连接器和信号通路，主机箱不仅提供底板，而且还需提供冷却、通风设备和电源，并保证模块与底板可靠连接。每个主机箱有 13 个插槽,面对插入方向从左至右其编号从 0到 12。

图 2.4 是一个典型的 VXI 主机箱的主视图。在所示的主机箱中，仪器模块是从前面垂直插进主机箱的，被插模块上的元件面朝右。

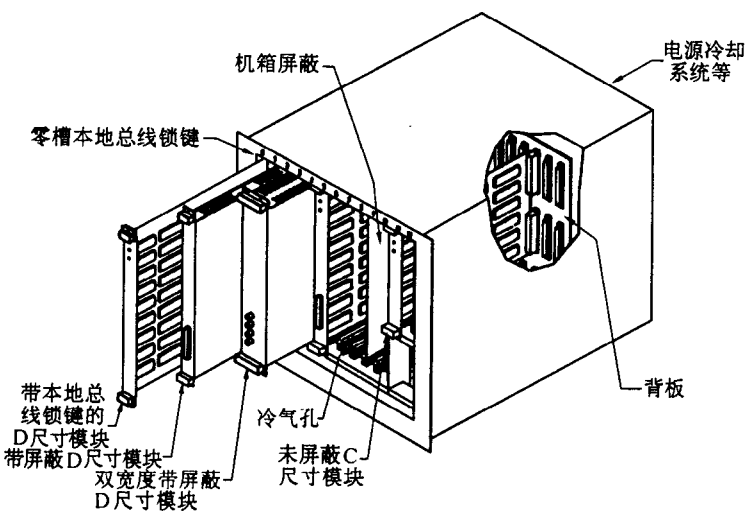


图 2.4 典型的 VXI 总线系统主机箱

VXIbus 模块实际上是由一块或几块 PCB及其上面的元件构成，做为一个插件插在主机箱中,其上带有 96 脚 P型连接器与主机箱底板上相对应的 J型连接器相连接,一个模块可以占据一个或几个插槽。模块的外形如图 2.5 所示。

VXI总线模块有如下四种标准尺寸：

(1) A尺寸模块：100 mm × 160 mm(高 × 深)；

(2) B 尺寸模块：233.5 mm × 160 mm(高 × 深)；

(3) C 尺寸模块：233.5 mm × 340 mm(高 × 深)；

(4) D尺寸模块：366.7 mm × 340 mm(高 × 深)。

其中，A 尺寸最小，D 尺寸最大，模块的尺寸示意图如图 2.6所示。

A尺寸模块和 B尺寸模块是 VME总线所规定的模块，适用于相应的 A 尺寸主机箱和 B尺寸主机箱，两插槽的间距为 20.32 mm(0.8 英寸)；而 C 尺寸模块和 D尺寸模块是 VXI总线所增加的，适用于相应的 VXI 总线 C尺寸主机箱和 D 尺寸主机箱，两插槽的间距为 30.48 mm (1.2英寸)。这为高档仪器提供了模块的屏蔽空间。

相应的，主机箱也有 A、B、C、D 四种尺寸，大尺寸的主机箱通常也允许插入小尺寸的模块。一般地，B、C 尺寸的主机箱应提供 J1、J2两种连接器，D尺寸的主机箱应提供 J1、J2 和 J3 三种连接器，而 A 尺寸的只需提供 J1 连接器。对模块而言，只有相应于 J1 连接器的 P1 连接器是必须的，相应于 J2、J3 连接器的 P2、P3 连接器是可选的。

据资料统计，目前在 VXI 总线测试系统中 C尺寸模块是用得最多的，大致占总模块量的 85.3%，而 D 尺寸模块占 6.3%，B 尺寸模块占 8.2%，A尺寸模块仅占 0.2%。

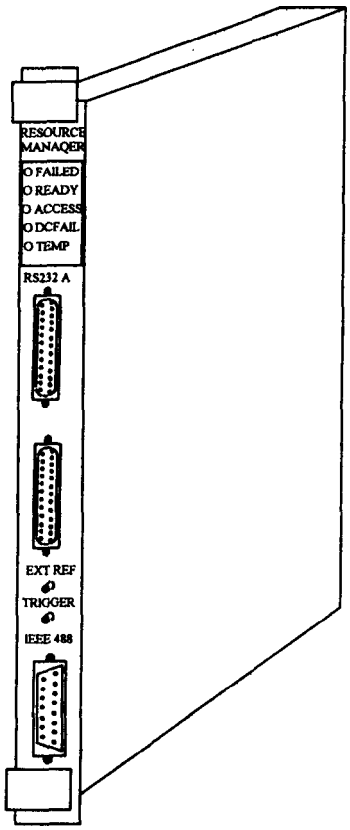


图 2.5 VXI 模块的外形

2.2.3 器件(Device)

器件是 VXIbus 系统中的基本逻辑单元。在一个 VXIbus 系统中最多可有 256 个器件，每个器件都有一个唯一的逻辑地址，逻辑地址的编号从 0 到 255。在 VXIbus 系统中，各器件内部的各可寻址单元是统一分配的，可用 16 位、24 位和 32 位三种不同的地址线统一寻址。在 16 位地址空间的高 16 K 字节中，系统为每个器件分配了 64个字节的空间，器件利用这 64 字节的可寻址单元与系统沟通信息，这 64个字节的空间就是器件基本的寄存器，其中包含了每个 VXIbus 器件都必须具备的配置寄存器。而器件的逻辑地址就是用来确定其各自的这 64 字节寻址空间的位置的。

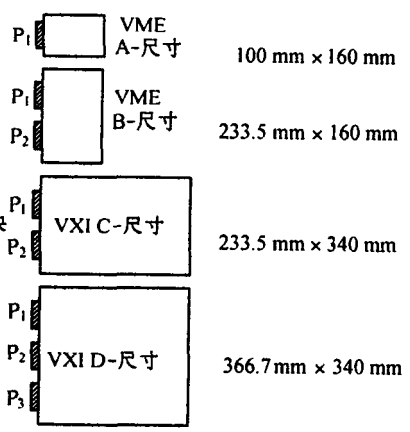


图 2.6 VXI模块的尺寸

器件根据其本身的性质、特点和它支持的通信规程可以分为消息基的器件、寄存器基的器件、存储器器件和扩展器件 4 种类型。下面分别加以介绍。

1.寄存器基器件

每个 VXIbus器件都有一组配置寄存器，系统可以通过 P1 连接器访问这些寄存器,以便识别器件的种类、型号、生产厂、地址空间以及存储器需求等。只规定这种最基本能力的 VXIbus 器件叫作寄存器基的器件。其特点是器件的通信是通过对它的寄存器进行读、写来实现的,这也是最简单的器件,如 A/D 变换器，多路开关等。这类器件本身一般不具有智能，不能控制其它器件，而只能受其它器件或系统控制。但这种器件硬件电路简便,易于实现,而且速度快,能充分体现 VXIbus 数传速率高的特点，节省了指令的译码时间,在速度要求高的情况下特别有用。

2.消息基的器件

消息基的器件不但具有配置寄存器，同时还具有通信寄存器来支持复杂的通信协议。这种器件一般都是具有本地智能的较复杂器件,例如计算机、资源管理器、各类有本地智能的测试仪器,488 - VXI 接口等。

消息基器件可以控制其它器件，也可以被其它器件控制，它能够接受和处理复杂命令,支持字串行协议,但是这种器件也有其不足之处,就是由于它需对指令进行译码等操作,所以其速度必然降低。

3.存储器器件

存储器器件与寄存器基器件有很多相似之处,即它没有通信寄存器,只能靠寄存器的读、写进行通信。但是存储器器件也有自己的特点，这就是它本身就是存储器，例如 ROM、RAM、磁泡存储器等,因而具有存储器的某些属性,例如属于不同的存储器类型,具有一定的存取时间等等。

存储器器件除具有配置寄存器外,还具有特征寄存器,只有存储器器件才有特征寄存器,这是一个只读型寄存器。特征寄存器中存储了该存储器的主要特点,例如用两位编码给出寄存器类别,指出它属于 ROM、RAM 或是其它存储器,用三位编码指出 8 种不同的存储器存取时间范围(或者说访问速度)等等。

这种器件的其它可寻址寄存器就是器件工作时使用的存储单元。这种器件一般由其它器件使用，而不能控制其它器件。

4.扩展器件

扩展器件是一些有特定目的的器件,它们允许为将来的应用定义新的器件门类,以支持更高水平的器件兼容性。扩展器件和其它器件一样也具有配置寄存器，因而能被系统识别。此外它还具有子类寄存器和由子类确定的寄存器，子类寄存器为 16 位读寄存器，用来指示器件的子类,它分为由 VXIbus 标准定义的和生产厂定义的子类两种类型。

上述 4种器件在 VXI 系统中担当的角色及器件之间的通信是基于一种器件分层关系进行的，即相互通信的两个器件一个称为命令者(Commander) ,另一个称为从者(Servant)。命令者是消息基器件，能控制一个或几个其它器件，这些被控器件就是该命令者的从者。命令者和从者是相对的，在多层次结构中，某一些器件既可以是命令者，也可以是从者。因此,可以说在较复杂的系统中分层结构是一种倒树形结构,处于倒树结构最上层的只是

命令者,称为顶层命令者,最下层的只是从者,而各中间层的器件既是下层器件的命令者,又是上层器件的从者,这种不单纯有一层命令者/从者关系的系统称为分层结构仪器系统,参见图 2.1。而系统中的这种命令者/从者层次是在系统上电时,由资源管理器来分配的。

2.2.4 资源管理器和 0 槽服务

在 VXIbus 系统中,资源管理器(RM)和 0槽服务提供了公共系统资源,它们对系统的运行都是至关重要的。资源管理器是系统配置的管理者,也是系统正常工作的基础。 0槽服务又称 0 槽支持。它向系统提供公用资源,也是系统工作中的重要部分。虽然资源管理器和 0槽服务往往做在同一模块中,插入 0 号槽位中,但它们任务有所区别,下面分别给予介绍。

一、资源管理器

资源管理器的主要任务是系统的配置管理,它的逻辑地址为 0,是一个命令者器件、而其它器件的逻辑地址不能设为 0。在系统上电时,资源管理器完成的系统配置主要的内容如下:

(1) 器件识别,资源管理器通过读 256个配置寄存器每一地址处的状态寄存器(见本章后面的介绍)来判断有无相应的器件。

(2) 系统的自检管理,资源管理器在所有器件完成自检后,强制自检失败的器件进入复位状态,或用一些与器件相关的方法来进行诊断测试。

(3) 配置系统地址图,资源管理器首先要读每个器件的地址空间要求,然后给所读器件分配一基地址偏移量(这是在 24 位或 32 位地址空间中)。通过计算偏移量,可保证器件间地址空间不重叠。可根据不同的规则,如器件类别和存储器特性来确定偏移量。

(4) 进行命令者/从者分层,资源管理器首先通过读基于消息器件的通信寄存器来找出所有的命令者并读出每一命令者拥有的从者区域大小,从而确定命令者/从者层次,并进行分配。

(5) 分配中断请求线,在 VXIbus 中有 7根中断请求线,即提供 7级中断能力,每个器件使用哪一根或几根中断请求线可以用硬件或软件的方法来决定,资源管理器只对那些支持用软件的方法来确定(即对中断请求线的使用具有可编程能力)的器件分配中断请求线。

(6) 启动正常操作,完成以上过程后,资源管理器便发出开始正常操作命令给顶层命令者,至此,资源管理器的上电工作过程已完成。

除了上电、复位等情况下的资源管理,在系统运行的过程中,资源管理器也要提供服务,这称为运行时间(Runtime) 资源管理。前面对资源管理器在上电时应完成的功能作了较详细的说明,但这只是它最基本的功能,随着资源管理器的用途不同,它的潜力、开发情况也有很大差别,例如除了基本功能外,还可提供 GPIB – VXIbus 翻译器,包括图形功能的人机交互等等。

二、0 槽服务

在 VXIbus 主机箱中,槽号是由 0 开始编排的,其 0号槽(简称 0 槽)与其它槽有所区别。VXIbus 0 槽器件主要用来给它所在的子系统中 1 ~ 12 号槽提供公共系统资源,包括通过 P2 连接器提供系统时钟 CLK10和模块识别信号(MODID),通过 P3 连接器提供系统

需要全本请访问 www.ertongbook.com