

# 确定测量所需的硬件平台

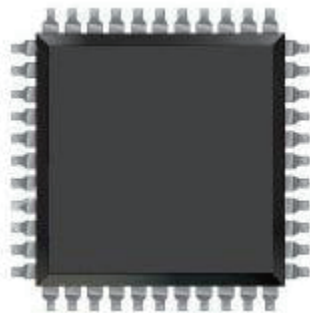
本节概述了在评估测试系统的测量需求时需要考虑的各种因素。

## 确定测试系统的测试范围

确定测试测量需求的第一步是确定系统的测试范围。系统测试的是单个产品、整个产品线或者一系列产品线？我们举个简单的例子来看看测试范围如何显著影响测试系统的需求。

### 场景1：测试单个产品

假设您在一家半导体公司担任测试工程师。您的近期目标是设计一个系统来测试图1所示的数模转换器(DAC)的上升时间、非线性特性（积分非线性或INL和微分非线性或DNL）以及漏电参数。



#### Digital-to-Analog Converter

- Rise Time = 5 ns
- Resolution = 8 Bits
- Current Leakage = 10  $\mu$ A

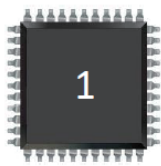
图1. 待测DAC

为了确保测试的对象是设备而不是测试系统，您需要一套比待测DAC性能更好的仪器。因此，测试系统必须包含上升时间快于5 ns的高速测量仪器。为了准确、适时地捕捉上升时间，需要以10倍的奈奎斯特速率进行测量，因而需要采样频率大于2 GHz的仪器。此外，测试系统还必须具有电流灵敏度高于10  $\mu$ A的仪器。最后，系统必须具有一个分辨率大于8位的仪器，才能正确地测量DAC编码宽度和执行非线性测试。

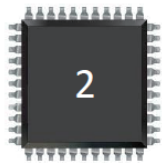
### 场景2：测试整个产品线

例如，构建一个系统来测试图2所示的整个模数转换器(ADC)产品系列的上升时间、INL和DNL以及漏电参数。

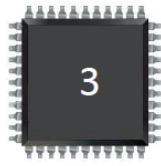
### Digital-to-Analog Converter Product Family



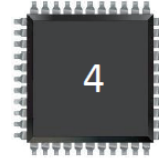
- Rise Time = 5 ns
- Resolution = 8 Bits
- Current Leakage = 10  $\mu$ A



- Rise Time = 10 ns
- Resolution = 12 Bits
- Current Leakage = 5  $\mu$ A



- Rise Time = 13 ns
- Resolution = 12 Bits
- Current Leakage = 1  $\mu$ A



- Rise Time = 25 ns
- Resolution = 16 Bits
- Current Leakage = 2.5  $\mu$ A

图2.待测的DAC产品系列

为了测试图2所示的DAC产品系列，系统必须具有性能参数优于整个产品系列的仪器。因此，该测试系统中的仪器必须具备以下条件：

- a) 低于5 ns的上升时间或高于 2GHz的采样频率
- b) 高于1  $\mu$ A的电流灵敏度
- c) 大于16位的分辨率

### 场景3：测试多个产品系列

我们通常希望能够尽可能地扩大测试系统的测试范围，实现多个项目共享一个平台；但是，这可能会发生以下问题：

- 为了满足不同的产品线，核心测试系统的复杂度会增加，从而增加了偶然性、经常性和物料成本
- 很难针对多个产品线维持相同配置
- 设备被淘汰的风险增加
- 增加需要多个测试系统的批量生产线的成本，即使待测设备可能只需使用测试系统功能的一小部分
- 由于只能使用系统的现有功能，为新生产线设计测试系统变得非常困难
- 由于测试性能停滞不前，与先进技术保持同步变得愈加困难

### 未来规划和其他考虑因素

除了要了解当前测试系统的需求，还需要评估系统未来的需求。接下去是否要使用该测试系统来测试其他产品系列？当前的产品系列是否还会增加新产品？如果回答“是”，那么就必须考虑未来新增产品的测量需求。如果确定测试系统的需求将会扩大，但不确定未来产品的测量需求，就必须使用一个易于扩展的模块化平台来设计系统。例如，测试系统必须能够轻松地提供各种接口，如USB、LAN和GPIB，使您可以快速地为系统添加机架式仪器不具有的新测量功能，如基于USB的模块化仪器。

### 其他考虑因素

- 预算和时间表
- 测试系统的预期生命周期

- 其他测试需求，如故障诊断功能
- 操作人员的技术水平
- 产品的数量

## 避免项目范围不清晰

确保对项目远景有充分的认识，并花时间来记录和确定项目目标。在项目计划文档中描述测试系统的可交付项目。为了确保准确无误的理解，建议在文档中写明测试范围内容和非测试范围内容。与关键相关者一起确认该文档的内容，花时间逐一解释，并让他们在文档上签字。对于大多数项目，还是需要对范围变化进行一定程度的规划，因此，设计一个流程来管理这些变化是非常重要的。然后，制定一个简单的流程来管理资源的文档记录、考量、批准和分配。从项目一开始就要使用变更控制表格和更改日志，并与客户和项目团队讲解这些表格的使用方法。每个变更都要标明相应的成本和时间，使客户明确地了解其影响。遵循一个规范的流程有助于确保相关人员了解所要求的变更的商业价值。

## 选择核心硬件平台

确定测试系统的测量需求后，就可以开始设计硬件架构。许多测试工程师直接将目光转移到市面上可其测量需求的仪器。但一个更好的方法是先找出一个合适的测试平台作为测试系统的核心。您可从多个平台中进行选择，其中大部分平台都是基于四种最常用的仪器背板/总线——PXI、GPIB、USB和LAN。由于每种总线都有其优势和局限性，因此通常需要构建的是基于多个平台的混合测试系统。即便如此，一个最佳的做法是为测试架构挑选一个主要或核心平台。本节概述了在为测试系统选择核心平台时必须考虑的因素。

## 处理性能和数据吞吐量

挑选控制器时应该考虑控制器的最差情况下的计算性能和吞吐量。

## 可扩展性

另一个因素是易用性，即是否方便扩展或修改系统。如果测试系统在其生命周期过程中有可能需要改变，那么这一点尤其重要。举个例子，假设您要构建的系统是用来测试不断扩大的产品系列。在这种情况下，您可能需要在无需进行较大改动且无需重新设计测试机架的前提下为系统添加新的功能。

## 测量多样性

用作测试系统核心的平台必须能够解决大部分的测试系统需求。因此，如果系统需要能够进行低级DC测量以及快速上升时间测量，则您必须选择一个能够容纳混合信号仪器的平台。一般情况下，核心平台必须至少能够满足测试系统80%的测量需求。

## 与其他总线和仪器的通信

如前面提到的，每种仪器总线和平台都有其不同的优点和缺点。构建基于多种仪器总线的混合系统可以帮助您利用不同测试平台的优势。混合架构也可让您灵活选择市场上提供的各种总线，从而提高了测试系统的灵活性。如果要构建的是将随时间而改变的复杂动态测试系统，这种灵活性尤其重要。构建混合架构的第一步是选择一个能够与基于多种总线的仪器进行通信的核心平台。

## 定时和同步

设计由多种总线和平台组成的测试系统时，必须确保核心平台可以通过发送触发和共享时钟来实现这些仪器的同步。

## 使用寿命

另一个要考虑的因素是测试系统的使用寿命。如果您希望系统具有多年的使用寿命，则应该选择能够经得起时间考验的平台。有时候产品和平台会走到生命周期的尽头，因而在测试系统中维护此类产品是非常困难的。出于这个原因，您必须选择一个成熟的平台，其包含产品和替代产品需要具有多年使用寿命。对于长期军事项目，可能需要考虑供应商支持协议或者设备停产等问题。

## 选择正确的数据总线

GPIB、USB、PCI/ PCI Express、PXI/ PXI Express和以太网/ LAN是自动测试系统最常见的通信总线。当今测试工程师面临的挑战是不能选择单一总线或平台来标准化每一个应用，而是要选择适用于特定应用或甚至应用中某一部分的总线或平台。本部分将逐一对最常见的仪器总线进行比较，帮助您在选择总线和平台技术时做出有据可依的决策来满足您的特定应用需求。下面将讨论的总线技术包括GPIB、USB、PCI、PCI Express和以太网/ LAN / LXI。

## 理解总线性能

首先为了对不同总线的评估和比较设定标准，了解仪器控制总线相关的性能标准至关重要。

### 带宽

在考虑可选择的总线的技术优点时，带宽和延迟是两个最重要的总线特性。带宽衡量的是数据通过总线传送的速率，通常以MB / s（每秒106个字节）计。总线带宽越高，在给定时间内传送的数据就越多。大多数用户意识到带宽的重要性是因为它影响着数据能否以与采集或生成速率相当的速率通过总线传入或传出共享主机处理器，另外它也影响了仪器所需的板载内存。带宽对于复杂波形生成和采集以及射频和通信应用非常重要。高速数据传输对于虚拟和合成仪器体系结构尤为重要。虚拟或合成仪器的功能和特性由软件定义；在大多数情况下，这意味着必须将数据转移至主机PC来进行处理和分析。图3显示了本文介绍的所有仪器总线的带宽（和延迟）。

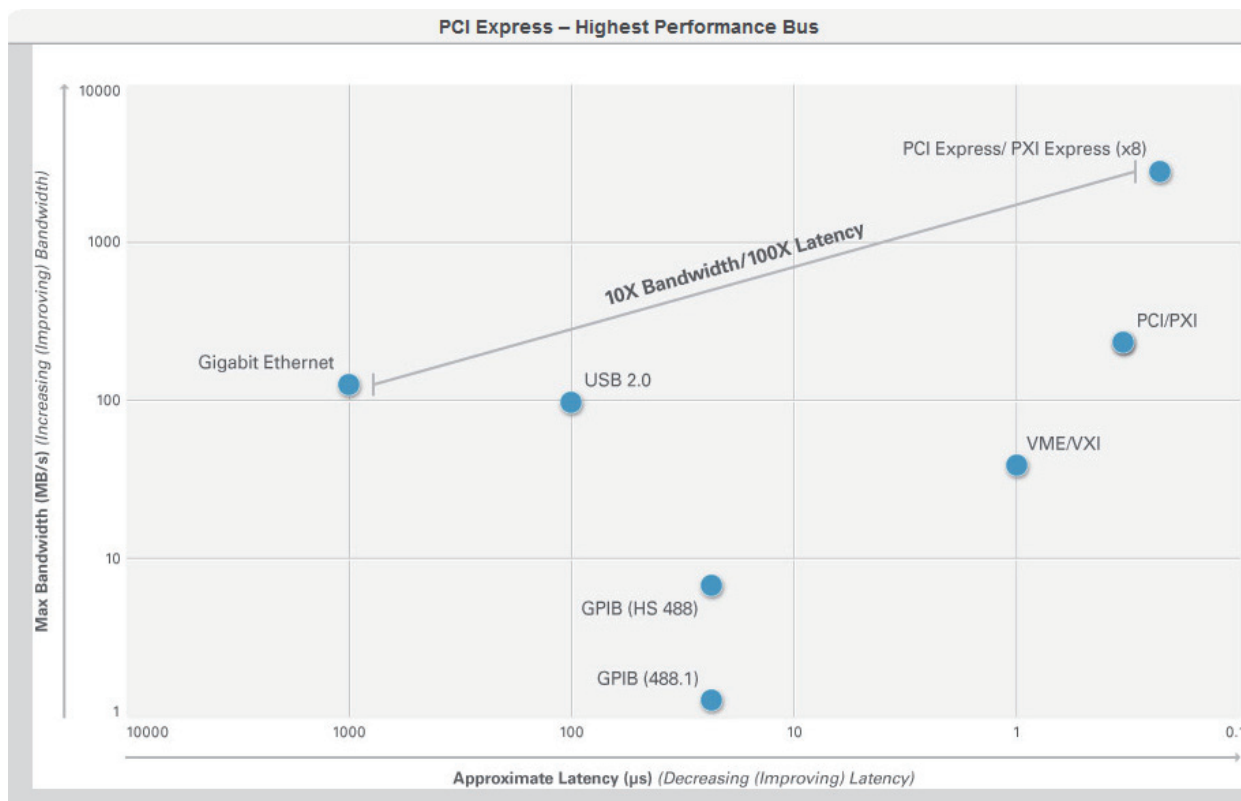


图3. 不同仪器总线的带宽和延迟对比

### 延迟

延迟衡量的是通过总线进行数据传输的延迟。打个比方，我们将仪器总线比作高速公路，带宽对应的是车道数和车辆行驶速度，而延迟对应的是由上下岔口引起的延迟。低延时（即性能较好）总线能够以少的延迟将一端发射的数据传输到另一端进行处理。延迟虽然不像带宽那样引人注目，但会直接影响一些需要沿总线传送一连串较短且不连续命令的应用，如数字万用表（DMM）与开关间的握手、仪器配置。

### 基于消息与基于寄存器的通信

基于消息通信的总线一般较慢，因为这种通信模式需要进行命令解读和在数据前后填充命令，因而增加了系统开销。采用基于寄存器的通信，数据传送则是通过对设备上的硬件寄存器直接读出或写入二进制数据完成，因此传输速度较快。基于寄存器的通信协议在PC的内部总线中最为常见，在PC内部，总线间的物理连接距离较短，因而需要的吞吐量最高。而基于消息的通信协议较常用于远距离传送数据，这种情况下，较高的开销成本也是可以接受的。

### 远程性能

对于远程监测应用和涉及较大地理范围的测量系统，距离变成一个非常重要的因素。在这类应用中，性能可以视为与延迟的折中，因为该应用需要进行检错和消息填充来克服通过长距离线缆传送数据的物理限制，但也会增加发送和接收数据的延迟。

### 仪器设置与软件性能

仪器设置和软件性能方面的易用性是本文介绍的评估标准中最为主观的。但是关于这一点的讨论却很重要的。仪器设置指的是即时的用户体验和设置所需的时间。软件性能则涉及到用户如何方便地找到交互式向导或标准编程API（如VISA），从而实现与仪器的通信和控制。

### 连接器的鲁棒性

总线所用的物理连接器会影响该总线是否适合工业应用，是否需要额外的工作以“加固”仪器与系统控制器间的连接。

## 仪器控制总线比较（GPIB、USB、PCI、PCI Express和以太网/LAN/LXI）

### GPIB

我们研究的第一个总线是IEEE 488总线，通常称为是GPIB（通用接口总线）。GPIB是一种经业界证明的专为仪器控制应用设计的总线。GPIB在过去30年来一直是具有高鲁棒性可靠的通信总线，由于其低延迟和较宽的带宽，GPIB目前仍然是仪器控制中最常见的选择。GPIB被业界广泛采纳，有超过10,000种仪器设备带有GPIB接口。

由于其最大带宽为1.8 MB/s，GPIB最为适合用于与独立仪器通信，并对其进行控制。最新的高速产品HS488将带宽提高到8 MB/s。GPIB中的数据传递采用基于信息的通信模式，通常采用ASCII字符的形式。多个GPIB仪器可以通过电缆连接，其总距为20米，带宽由总线上的所有仪器共享。虽然GPIB的带宽相对较低，但其延迟要比USB，尤其比以太网低得多（即性能好）。尽管GPIB有目前最好的软件，而且稳定的线缆和连接器也能适合最恶劣的物理环境，但GPIB仪器在连接到系统时，并不能进行自动检测或自动配置。对于实现现有仪器的自动化或要求高度专业化仪器的系统，GPIB是理想的选择。

### USB

近年来，USB（通用串行总线）在计算机外设的连接方面日渐普及。这样的普及性已经扩散到测试与测量领域，越来越多的仪器生产商在其仪器中增加USB设备控制器功能。

高速USB的最大传输速率为60MB/s，这使其成为数据速率低于1 MS/s的独立仪器和虚拟仪器进行仪器连接和控制的有效方案。虽然绝大多数便携机、台式机和服务器的可能多个USB端口，但那些端口通常都连接到同一个主机控制器，所以USB的带宽是由这些端口共享。USB的延迟属于中间级别（位于延迟最大的以太网与最小的PCI和PCI Express之间），线缆长度的上限是5米。USB设备的优势在于自动检测。不同于LAN或GPIB等其它技术，当USB设备接入PC时，PC能够即刻识别并配置该USB设备。本文讨论的所有总线中，USB连接器鲁棒性最差，安全性最低。需要外部尼龙扎带将其固定住。

USB设备非常适合那些需要便携式测量、便携机或台式机数据记录和车载数据采集的应用。由于USB在PC上的普及程度，特别是其即插即用的易用性，该总线已经成为独立仪器进行通信的普遍选择。USB测试与测量类（USBTMC）规范解决了一系列测试与测量设备的通信需求。

## PCI

本文讨论的所有总线中，PCI和PCI Express具有最佳的带宽和最小的延迟。PCI的带宽为132 MB/s，这一带宽为总线上的所有设备共享。PCI的延迟性能基准值为700 ns，与延迟为1 ms的以太网相比，这个指标是非常出色的。PCI采用基于寄存器的通信方式。与本文提及的其它总线不同的是，PCI并不通过线缆与外部仪器相连。相反，PCI总线通常用于PC插入式板卡和模块化仪器系统（如PXI）内部，因此其并不适用于长距离测试。然而，当连接PXI系统时，PCI总线可以通过使用NI光纤MXI接口来进行“延伸”，最长可“延伸”200米。由于PCI插槽在计算机内部，所以有理由说：PCI连接的鲁棒性可能受限于其所在的PC的稳定性和鲁棒性。PXI模块化仪器系统是基于PCI信号构建而成的，通过高性能背板连接器和多个螺丝端子保持固定连接，从而增强了连接性。如果PCI或PXI模块安装正确，系统启动后，Windows将自动检测并为模块安装驱动程序。

PCI（以及PCI Express）与以太网、USB的共同优势在于，它们普遍存在于PC机上。PCI是PC历史上采用的最为广泛的标准之一。如今，每台台式机都具有PCI插槽或PCI Express插槽或两者兼具。一般来说，PCI仪器需要的成本更低，因为这些仪器依赖于所在PC的电源、处理器、显示器和内存，而不再需要在仪器中另外配置这些硬件。

## PCI Express

PCI Express与PCI相似。它是PCI标准的最新演进版本，相当于高速USB与USB的关系。因此，上述关于PCI评估的许多内容也适用于PCI Express。

PCI Express和PCI的主要性能差别在于，PCI Express总线的带宽更高，而且能为每台设备分配专用带宽。在本文所讨论的所有总线中，只有PCI Express能为每个外设总线提供专用带宽。GPIB、USB和LAN都是在所有连接的外设中共享带宽。在PCI Express中，数据在称为“单向道”的点对点连接中以单方向250 MB/s的速度传输。每个PCI Express连接可以由多个单向信道组成，所以PCI Express总线的带宽取决于其在插槽和设备中的实现方式。一条Gen1链路可提供250 MB/s带宽，一条x4链路就能提供1 GB/s带宽，一条x16链路则能提供4 GB/s专用带宽。值得注意的是，PCI Express实现了软件的向后兼容性，这也意味着转用PCI Express标准的用户可以继续利用其在PCI的软件投资。PCI Express也同样可以通过外部线缆进行扩展。在PCI-SIG（PCI特别兴趣小组）推出带宽两倍于PCI Express Gen1的PCI Express Gen2后，PCI Express继续不断发展。

高速内部PC总线最初是针对快速通信而设计的。因此，PCI和PCI Express是需要较大带宽的数据密集型高性能系统以及集成和同步多种类型仪器的理想总线选择。

## 以太网/LAN/LXI

长久以来，以太网一直是仪器控制的选择之一。它是一种成熟的总线技术，并一直被广泛应用于测试与测量外的许多应用领域。100BaseT以太网技术的最大理论带宽为12.5 MB/s。千兆以太网或1000BaseT能将最大带宽增加到125 MB/s。在所有情况下，以太网的带宽由整个网络共享。理论上千兆以太网的带宽为125 MB/s，其速度比高速USB更快，但当多个仪器和其它设备共享网络带宽时，其性能就会急剧下降。该总线采用基于消息的通信方式，通信包会明显地增加数据传输的开销。鉴于此，以太网的延迟在本文介绍所有的总线技术中是最差的。

尽管如此，以太网仍然是创建分布式系统网络的有力选择。在没有采用中继器的情况下，以太网的最大工作距离为85到100米，如果使用中继器将没有任何距离限制。没有其它总线可以支持这么远的控制PC到平台的距离。就像GPIB一样，以太网/LAN不支持自动配置。用户必须手动为其仪器分配IP地址和进行子网配置。与USB和PCI相似，以太网/LAN的连接普遍存在于现代PC中。这使得以太网成为分布式系统和远程监测的理想选择。以太网技术经常与其它总线和平台技术结合使用，以连接测量系统节点。这些本地节点本身或许由测量系统借助GPIB、USB和PCI组成。以太网的物理连接比USB的连接要稳定得多，但比GPIB或PXI的鲁棒性差。

LXI（面向仪器系统的LAN扩展）是一个即将推出的基于LAN的标准。LXI标准为独立仪器定义规范，这些独立仪器具有以太网连接来提高触发和同步性能。

## 总结：仪器总线性能

尽管指定单一的总线或通信标准作为“最终的”或“理想的”技术在概念上看颇为简便，但历史告诉我们，多个通信标准可能会继续共存，因为每项总线技术都有其独特的优势和局限性。表1归纳了上一节提到的性能标准。需要记住的一点是，没有任何一种总线在所有测量性能指标上都是最好的。

	Bandwidth (MB/s)	Latency ( $\mu$ s)	Range (m) (without extenders)	Setup and Installation	Connector Ruggedness
<b>GPIB</b>	1.8 (488.1) 8 (HS488)	30	20	Good	Best
<b>USB</b>	60 (Hi-Speed)	1000 (USB) 125 (Hi-Speed)	5	Best	Good
<b>PCI</b>	132	0.7	Internal PC bus	Better	Better Best (for PXI)
<b>PCI Express</b>	250 (x1) 4000 (x16)	0.7 (x1) 0.7 (x4)	Internal PC bus	Better	Better Best (for PXI)

表1. 不同总线的性能比较

混合的测试与测量系统结合了模块化仪器平台（如PXI和VXI）和独立仪器的组件，它们通过 GPIB、USB和以太网/LAN相连接。构建和维护混合系统的关键是实现这样一个系统架构：该架构能够透明地识别多种总线技术并利用一个开放的、多厂商支持的计算平台（如PXI）来实现 I/O 连接。

另一个成功开发混合系统的关键在于，确保针对驱动程序层、应用层和测试系统管理层所选择的软件都是模块化的。虽然一些厂商会为特殊的仪器提供垂直集成的软件方案，但最有用的系统架构还是应该将软件的功能分解到可互换的模块化的各层，这样会使您的系统不必受限于某个具体的硬件或某个厂商。这种分层的方式提供了最佳的代码复用、模块性和生命周期。例如，VISA（虚拟仪器软件架构）是一个厂商中立的软件标准，可用于由 GPIB、VXI、串口 (RS232/485)、以太网、USB和/或 IEEE 1394等接口组成的仪器系统的配置、编程和故障排除。由于对于不同的通信接口，编程VISA功能使用的API都是类似的，因此VISA成为一个非常高效的工具。

使用混合系统，您可以综合多种类型仪器的优点，包括传统设备和专用设备。尽管为仪器寻找一个万能的解决方案非常有吸引力，但工程实践要求测试工程师应当使用满足其具体应用需求的仪器和相关总线技术。

## 确定所需的仪器

现在您已经对如何确定测试系统的测量需求以及如何选择硬件平台有了更好的了解，您就可以开始选择测量所需的具体硬件仪器。本部分介绍了为测试装置选择正确仪器的一些最佳实践。

### 基于测量/激励而非仪器类型选择仪器

测试工程师往往会根据类型而不是需求来选择仪器。例如，即使在许多应用中，数据采集板卡的精度已经足够了，许多工程师仍会选择数字万用表来进行高精度的测量。这种的决定通常会导致成本增加，因此您应该根据测量需求而不是仪器类型来选择仪器。

### 测试精确度比

选择测试系统仪器的另一个最佳方法是计算测试精确度比(TAR)，以确保测量设备的精确度远远高于所测试组件的精确度。如果测量设备不符合这个标准，则待测设备和测试设备都有可能会导致测量误差，从而无法知道真正的错误来源。正因为如此，工程师通过TAR来确定测量设备和待测元件的相对精确度。TAR可根据以下公式来计算：

$$TAR = \text{待测元件所需的精确度} / \text{测量设备的精确度}$$

## 选择模块化仪器

模块化仪器这一术语是指虚拟仪器架构中的模块化硬件，如图4所示。

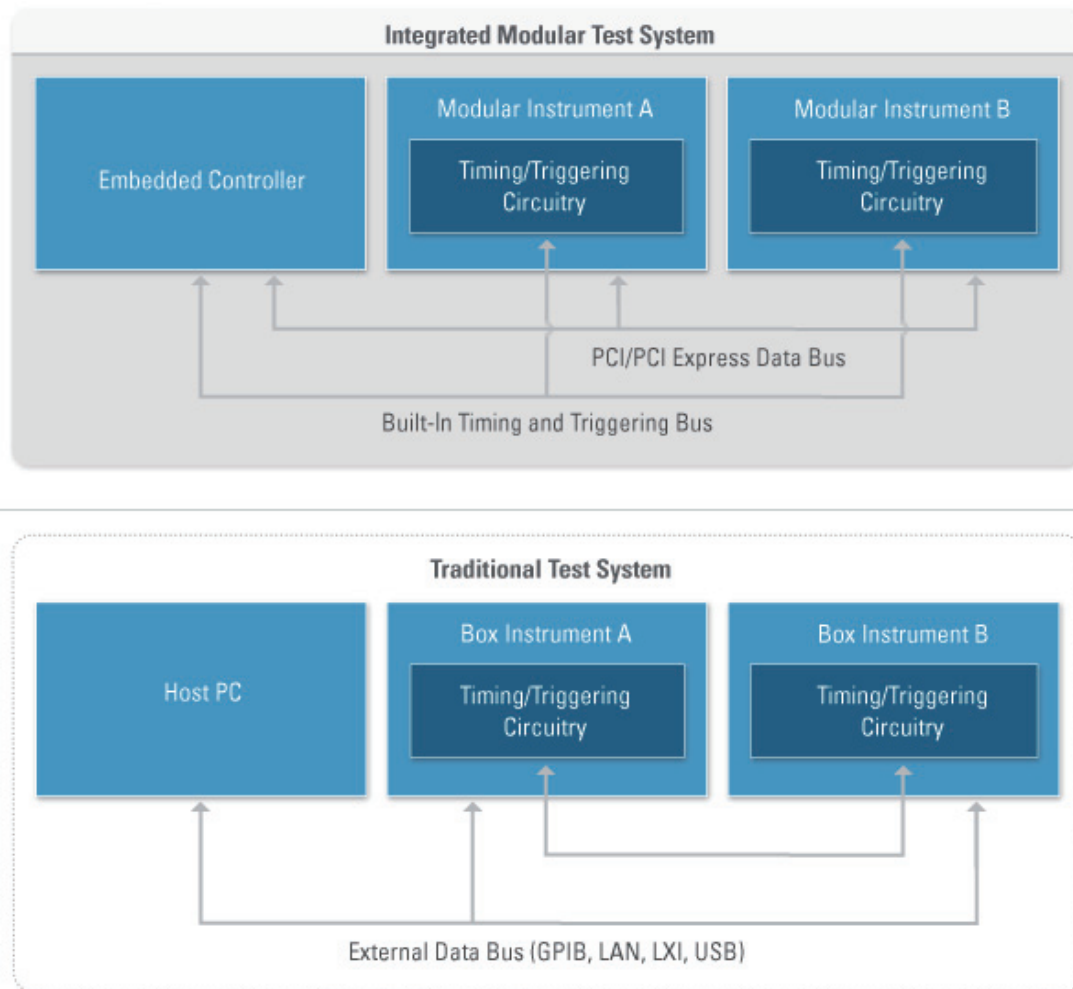


图4. 传统仪器架构和虚拟仪器架构的比较。

为了理解模块化仪器的工作原理，首先要理解图4中两种方法之间的异同。

可以看到，两种方法都包含测量硬件、机箱、电源、总线、处理器、操作系统和用户界面。由于两种方法都采用相同的基本元件，单纯从硬件的角度来看，最明显的区别在于组件的封装方式。传统或独立仪器针对每种仪器功能将所有的组件分别封装在一个盒子内。相反，在一个设计完善的模块化仪器系统，许多组件——如总线、电源、操作系统和用户界面——是由不同的仪器模块共享，而不是针对每个仪器功能不断复制这些组件。这些仪器模块也可以包含不同类型的硬件，包括示波器、函数发生器、数字和射频模块等。

模块化仪器可针对各种不同的平台进行设计，本教程将讨论针对PXI（面向仪器系统的PCI扩展）平台的不同模块化仪器参数——PXI是一款用于测试、测量和控制的坚固平台，受到60多家厂商的支持。

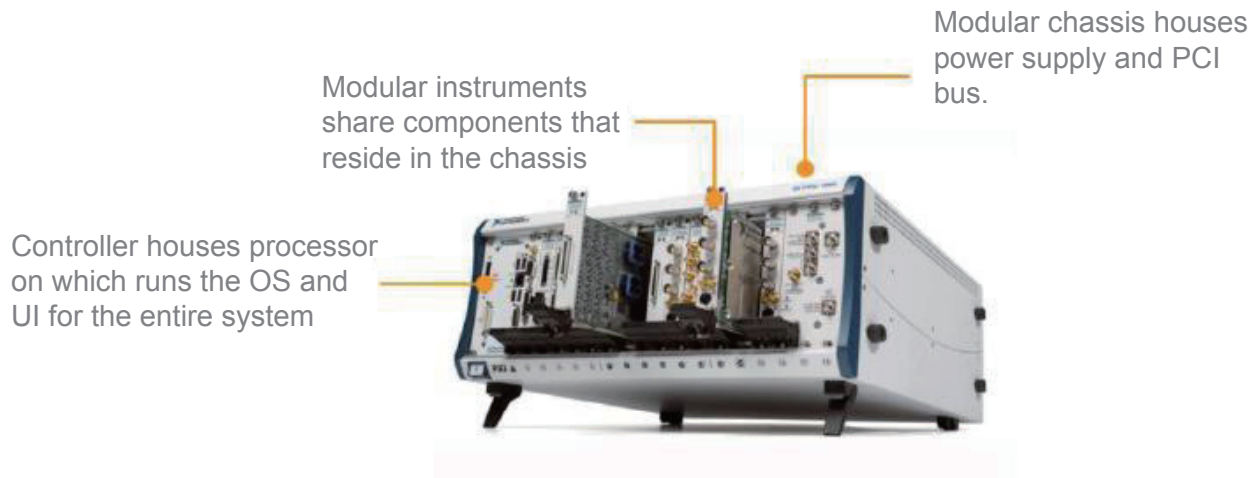


图5. PXI平台支持模块化仪器。

## 模块化仪器解析

为了选择最符合应用需求的仪器，理解模块化仪器的各个组件以及这些组件对基础仪器参数（如带宽、分辨率、精度和采样率等）的影响是非常重要的。

本教程将为您剖析具有输入端的模块化仪器，介绍仪器的不同组件如何影响各种参数。

模块化仪器通常包括四个主要组件——模拟输入、模拟前端、模数转换器（或数模转换器，如果仪器有输出端的话）以及与机箱的连接。

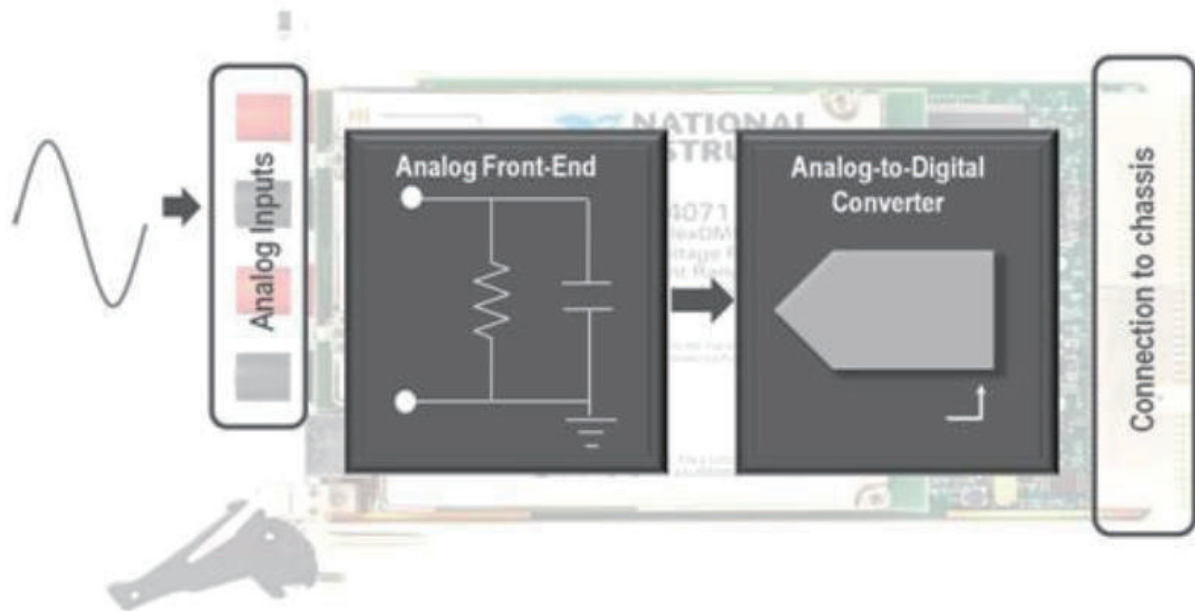


图6. 典型PXI模块化仪器的解剖图

**模拟输入：**所有的模块化仪器都具有输入连接器。模拟信号通过输入连接器进入设备。但是，连接器的类型根据不同仪器而异。例如数字万用表使用香蕉连接器以牢固地连接输入信号，从而降低噪声以及确保精确的直流测量。另一方面，许多数字化仪由于具有较高的带宽而采用的是BNC连接器。



图7. 数字万用表连接器专门针对高精度而设计。数字化仪连接器则是针对高带宽而设计。

**与机箱的连接：**PXI平台的模块化仪器在其背面配有PXI或PXI Express (PXIe)连接器。该连接器将仪器连接到机箱背板，通过背板上的触发总线来实现机箱中多个仪器的同步。

**模拟前端：**所有仪器均具有一个模拟前端。这其实是用来对输入信号进行调理的非常关键的模拟电路。模拟前端通常针对高带宽或高精度而进行优化。例如，数字万用表的前端具有一个恒温板载基准，用于在每次测量之前对数字万用表进行校准，以确保最高精度。数字万用表的前端也进行了优化以降低噪声。

另一方面，数字化仪和任意波形发生器等高速仪器的模拟前端采用的是阻抗匹配的元件，以减小高带宽值下的衰减。

一般来说，设计仪器的前端需要在精确度和带宽之间进行权衡。因此，前端带宽较高的仪器通常精确度较低。反之亦然。

**模数转换器(ADC):** 输入信号通过前端电路后，经模数转换器(ADC)转换为计算机可直接使用的数字值。仪器的ADC决定了输入信号的采样速率，同时也是决定仪器分辨率的因素之一。

**注意:** 如果仪器能够输出信号，则应采用数模转换器(DAC)而不是ADC。

### 前端的影响

本文的上一节讨论了仪器的模拟前端如何影响仪器的带宽和精确度。本节将阐述带宽和精确度这两个术语的意思以及这两个参数对信号测量有何影响。

**带宽:** 仪器带宽的一个更精确的定义是：正弦信号通过模拟前端衰减到其原始振幅的70%时的频率。该频率也通常称为3 dB点。仪器的带宽取决于前端的带宽，前端采用的是RC电路，其作用相当于低通滤波器。

**精确度:** 仪器进行任何测量时总是会存在一些不确定性。精确度衡量的正是这种不确定度。为了更好地理解精确度，我们以Omega天文台手表系列为例。Omega天文台手表的机械运动的日平均变化范围为每天-4/+6秒或者百万分之(PPM)69.4。这代表99.99%的精确度，也是机械运动可以达到的最高精度。

不同仪器在不同的测量范围和条件下具有不同的精度。因此，必须仔细评估数据表中列出的参数，从而确定某一特定产品是否满足您的测量需求。

### ADC/DAC的影响

本节将详细介绍采样率和分辨率这两个受仪器ADC影响的参数对测量的影响。

#### 采样率

采样率是指仪器的ADC将输入信号转换成代表电压的数字电平的最大速度。在分析仪器采样率时，需要记住的一个定理是奈奎斯特定理，该定理指出采样频率必须大于信号中最高频率分量的两倍，才能捕获该最高频率分量。即使是以2倍的速率，信号仍会有明显失真（如图8所示），图中显示的是一个采样速率为200 MS/s 的ADC正在采集一个100 MHz的正弦波。

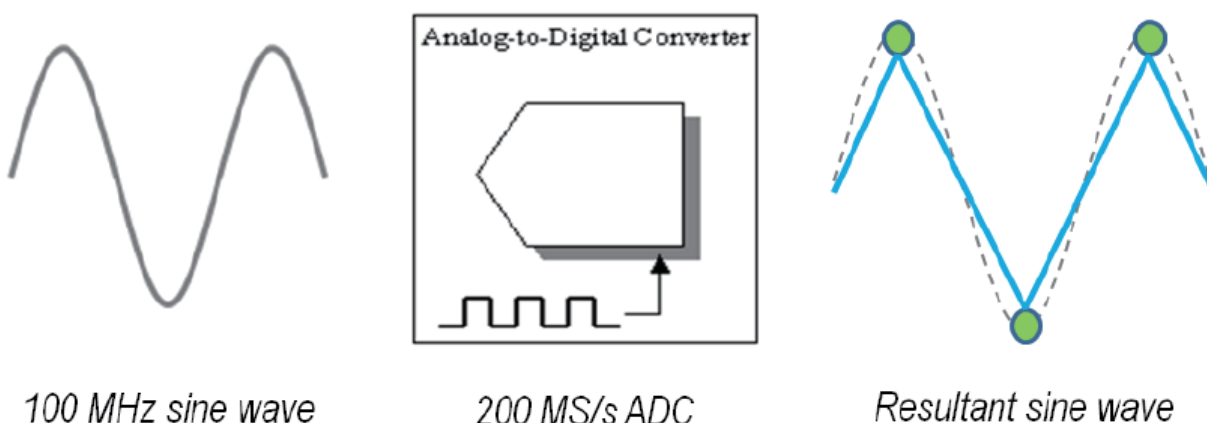


图8. 以200 MS/s速率采样的100 MHz正弦波存在明显失真。

为了精确获得该信号，该仪器的采样率必须至少是信号速率的5倍。

### 分辨率

分辨率是另一个由ADC直接影响的仪器参数。分辨率定义为仪器或传感器能够可靠地检测到的输入信号最小变化量。通常情况下，在数字化仪、任意波形发生器(arbs)和动态信号分析仪(DSA)等模拟仪器中，分辨率用bits（位）来表示，而在数字万用表等精密直流仪器中，分辨率用digits（位）表示。

### Bits

模拟仪器（示波器、任意波形发生器、动态信号分析仪等）的分辨率以bits（位）表示，该参数直接取决于仪器的ADC（任意波形发生器采用的是DAC）。例如，18位数字化仪使用的是18位的ADC。模拟仪器可以检测到的最小输入信号变化，也称为最低有效位(LSB)，可以通过以下公式计算得到：

$$\text{Least Significant Bit (LSB)} = \frac{\text{Input Range}}{2^{\text{number of bits on ADC/DAC}}}$$

### Digits

数字万用表等精密直流仪器的分辨率以digits（位）表示。位的个数代表数字万用表能够生成的有意义计数次数或者独特数字化值。对于传统的盒式数字万用表，位的个数表示的是数字万用表的读数可以显示的十进制数的个数。位的个数通常专指可以取0到9之间的任意整数值的位的个数，超量程位通常以½位表示。超量程位只能取特定值，通常为0或1。例如，6½位数字万用表的读数会显示7个十进制数。在显示屏上，最高位的值为0或1，其余位从0到9不等。

**02.31023**  
 ↑ ↑ ↑ ↑ ↑ ↑  
 ½ 1 2 3 4 5 6 = 6½ Digits of Resolution

图9. 6½位数字万用表的读数示例。

digits和bits之间具有一个大致的关系。例如，对于一个使用12位ADC来数字化信号的无噪声数字万用表，分辨率的digits可以通过以下公式计算得到：

$$\text{Digits of Resolution} = \log_{10}(\text{Number of LSB}) = \log_{10}(2^{12}) = 3.61 \text{ digits}$$

但是现实中无噪声的DMM是不存在的。噪声会减少LSB的值，即降低位的个数。因此，在计算数字万用表的有效位数(ENOD)时应当考虑噪声级别。ENOD可以通过以下公式计算得到：

$$ENOD = \log_{10}\left(\frac{\text{Total Span}}{\sqrt{12} \times \text{RMS Noise}}\right)$$

## 模块化硬件架构剖析

### 软件

借助NI LabVIEW、LabWindows™/CVI和Measurement Studio等软件工具简化应用开发。这些软件包含了高性能驱动程序以及专门针对大部分常见应用开发环境优化的直观、灵活的高层API。

### PXI模块

借助模块化仪器，您可以从丰富的测量、信号生成、射频、电源和开关模块中进行选择，然后在软件中对仪器进行配置来满足您的特定测量需求。

### 标准机箱类型

PXI机箱具有各种不同的配置，包括低噪声、高温、低插槽和高插槽数等。PXI机箱还提供了一系列不同的I/O模块插槽类型、LCD显示器等集成外设以及其他模块。

### PXI控制器

控制器选项包括安装Microsoft Windows操作系统或实时操作系统(NI LabVIEW Real-Time)的高性能嵌入式控制器或者通过台式机、工作站、服务器或笔记本电脑控制的远程控制器。

图10. PXI系统由三个基本组件构成——机箱、系统控制器和外设模块。

### PXI机箱

PXI机箱为系统提供了坚固的模块化封装，有3U和6U两种尺寸可选，插槽个数从4到18不等，具有直流电源和集成信号调理等专用功能。机箱包含高性能PXI背板，PXI背板则包括PCI总线以及定时和触发总线。借助这些定时和触发总线，用户可以为需要精确同步的应用开发相应的系统。

### PXI控制器

根据PXI硬件规范的规定，所有的PXI机箱均包含一个系统控制器插槽，位于机箱最左边（插槽1）。控制器选项包括通过台式机、工作站、服务器或笔记本电脑控制的远程控制器和高性能嵌入式控制器，它们即可以安装Microsoft操作系统(Windows 2000/XP)也可以安装实时操作系统(NI LabVIEW Real-Time)的。

使用PXI嵌入式控制器就无需再使用额外的PC，因此PXI机箱内可以形成一个完整的系统。PXI嵌入式控制器通常由标准的PC器件封装而成。

以下是两种PXI嵌入式控制器：

- 安装Windows操作系统的PXI嵌入式控制器
- PXI嵌入式实时控制器

#### **安装Windows操作系统的PXI嵌入式控制器：**

安装Windows操作系统的PXI嵌入式控制器具有标准的PC功能，如集成CPU、硬盘、RAM、以太网、视频、键盘/鼠标、串口、USB和其他外设，并安装了Microsoft Windows和所有设备驱动程序。由于控制器安装的是微软Windows操作系统，因此在用户体验方面与PC或笔记本电脑没有什么不同。同时该控制器也装有与PC或笔记本电脑相似的软件，如Microsoft Office Word、Excel和PowerPoint。

#### **PXI嵌入式实时控制器：**

PXI嵌入式实时控制器也具有标准的PC功能，但它安装的是实时操作系统，如LabVIEW Real-Time或VxWorks，为测量、自动化和控制提供了实时、确定、可靠的I/O。由于实时系列的PXI控制器通过以太网进行配置和编程，因此您可以通过网络来发布实时应用并进行远程监控。这些控制器专为需要确定性和可靠性的应用而设计，并且可以在无人工干预（即没有键盘、鼠标或显示器）下运行。



图11. 例如，NI PXIe-8135控制器搭载了Intel Core i7-3610QE处理器，具有高达16 GB的DDR3 RAM、硬盘驱动器以及ExpressCard、USB2.0、USB3.0、以太网、串口、并口和GPIB端口等标准PC外设接口。

嵌入式控制器是便携式系统以及需要经常移动的“单箱”应用的理想之选。如需了解更多信息，请访问PXI控制器。

#### **PXI远程控制器**

PXI远程控制器有两种类型：

- 笔记本电脑控制PXI
- PC机控制PXI

### 笔记本电脑控制PXI:

采用NI ExpressCard MXI (Measurement eXtensions for Instrumentation, 面向仪器系统的测量扩展)和PCMCIA CardBus接口套件, 用户可以直接通过笔记本电脑控制PXI系统。启动过程中, 笔记本电脑可以将所有PXI系统的外设模块识别为PCI设备。借助ExpressCard MXI, 您能够以高达214 MB/s的持续吞吐量来控制PXI系统。



图12: 您还可借助ExpressCard通过笔记本电脑透明地控制PXI Express系统

用户现在可以借助笔记本电脑控制PXI这一功能将移动PXI系统用于现场测试、车载数据记录、NVH和NDT等应用。您可以购买任何兼容ExpressCard MXI或兼容PCMCIA CardBus的笔记本电脑来远程控制PXI系统。

### PC机控制PXI:

借助NI MXI-Express和MXI-4远程控制套件, 您可以通过台式机、工作站或服务器计算机控制PXI系统。启动过程中, 计算机可以自动将所有PXI系统的外设模块识别为PCI设备。通过ExpressCard MXI, 您将能够以高达832 MB/s的持续吞吐量来控制PXI系统。MXI-Express双端口接口套件还可帮助用户通过一台PC来同时控制两个PXI系统。



图13: 借助无需编程的透明高速链路通过PC机直接控制PXI Express系统

借助PXI远程控制器，您可以通过使用台式电脑或笔记本电脑来远程控制PXI系统，以最低成本最大化利用处理器性能。由于所有远程控制产品均是软件透明的，因而无需额外编程。

### PXI——模块化仪器的行业标准

基于PCI和下一代PCI Express的PXI是继GPIB之后发展最快速的测试和测量标准。PXI最能满足现在和未来的模块化仪器需求，因为它拥有一个由60家多厂商组成的PXI系统联盟提供了1500多款产品。首先，PXI系统中的所有仪器共用同一个电源、机箱和控制器。其他替代方法则需要针对每种仪器使用独立的电源、机箱和/或控制器，这样既增加成本和体积，也降低了可靠性。借助PXI，控制器可以是高性能位于0插槽的嵌入式控制器、台式机、笔记本电脑亦或是服务器级计算机。如果您需要更快的处理速度，也可以轻松地升级PXI系统的控制器。如果要复用现有设备，可以使用PXI来控制USB、GPIB、LAN/LXI、串口和VXI仪器。

模块化仪器需要使用高带宽、低延迟的总线来将仪器模块连接到共享处理器，以执行用户定义的测量。PXI为每个插槽提供了满足PCI Express第一代规范的2 GB/s带宽，从而可以满足这些需求。未来的PCI Express总线将进一步提高带宽。每插槽的实际带宽根据制造商不同而异，这取决于总线使用的是x4还是x8 PCI Express接口以及总线是第一代、第二代还是第三代总线。

以模块化射频采集系统为例。PXI可直接将两个100 MS/s 16位IF数据通道传输到处理器进行计算。LAN和USB均无法满足这些要求，因此这些传统仪器总是包含一个供应商定义的嵌入式处理器。因此，作为高带宽标准的PXI以一种完全软件定义的方式满足了模块化仪器的要求。

## 为什么选择PXI?

### 更高吞吐量

每个应用都有其独特性及特定需求。然而，对于许多应用来说，带宽和延迟是一个平台的两个重要属性。通常对于单点操作（如数字万用表/开关扫描）来说，延迟更为重要，而对于数据流应用（如波形激励/响应）来说，带宽往往更为重要。PXI为各种应用提供了高速度，通过PCI/PCI Express总线提供了高带宽和低延迟。

### 定时和同步

许多测量和自动化应用需要高级的定时和同步功能，这是PCI/PCI Express、以太网/LAN、USB等标准PC I/O总线无法直接实现的。PXI通过提供高级的定时和同步功能来满足您的应用需求：

- 100 MHz差分系统参考时钟
- 10 MHz参考时钟信号
- 差分星形触发线
- 星形触发总线，具有长度匹配的触发线长，以最大程度减少模块间的延迟和歪斜
- 触发总线发送和接收高速定时和触发信号
- 差分信号，实现多机箱同步
- 支持GPS、1588和IRIG-B等工业标准

### 系统可靠性

PXI规范的要求使得PXI系统非常适合于恶劣环境。PXI具有高性能IEC（国际电工委员会）连接器 and 用于CompactPCI的坚固Eurocard封装系统。PXI规范还规定了特定的冷却和环保要求，以确保系统在工业环境中的正常运行。模块化设计使得PXI系统非常易于配置、重新配置和修复，从而最大程度降低平均修复时间(MTTR)。由于PXI的模块化特性，您无需更换整个系统即可轻松更新各个模块和组件。

### 更低系统成本

由于PXI是一个基于PC的平台，它以实惠的价格提供了高精度仪器、同步和定时功能。低成本的PC组件就是PXI系统可帮助您节省成本的一个方面。借助PXI，您在办公室和生产车间均可以使用相同的操作系统以及MS Excel、MS Word等应用软件。熟悉的软件也节省了培训成本，使您每次部署新系统时无需重新培训人员。由于PXI是基于PC技术，因而您可大大受益于低成本元件、熟悉的软件和系统复用。