



**CONNECT AND PROTECT**

# PXI Express 机箱 - 模块化结构,专用于自动化及测试系统

白皮书

  
nVent

**SCHROFF**

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

## 目录

---

|                                                |          |
|------------------------------------------------|----------|
| <b>1. 简介: PXI Express 系统的市场需求 .....</b>        | <b>3</b> |
| <b>2. PXI Express – 模块化的架构 .....</b>           | <b>3</b> |
| 2.1 对PXI Express机箱的功能要求 .....                  | 3        |
| 2.2 模块化PXI Express机箱的优势 .....                  | 3        |
| <b>3. PXI EXPRESS机箱架构 -基于模块化的设计理念而构建 .....</b> | <b>4</b> |
| 3.1 机械结构.....                                  | 4        |
| 3.2 电源.....                                    | 5        |
| 3.3 散热.....                                    | 5        |
| 3.4 背板.....                                    | 5        |
| <b>4. PXI EXPRESS 机箱 - 功能模块 .....</b>          | <b>7</b> |
| 4.1 PXI Express 时钟模块.....                      | 7        |
| 4.2 PCI Express 交换模块 .....                     | 7        |
| 4.3 PXIe - PCI 桥接模块 .....                      | 8        |
| 4.4 桥接模块触发器 .....                              | 8        |
| <b>4. 总结.....</b>                              | <b>7</b> |
| 作者信息 .....                                     | 9        |
| nVENT 中国.....                                  | 9        |

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

## 1. 简介: PXI EXPRESS系统的的市场需求

PXI Express 标准平台(由PXI System Alliance开发)是PXI平台的升级版本, 它采用PCI Express总线和CompactPCI Express架构,能够运行海量的基于PC技术的测试测量类应用, 在工业自动化, 科学研究领域均有广泛部署

基于PC技术的PXI Express专为测量和自动化系统定义, 其对测量系统的同步性能、灵活性和可扩展性都提出了很高的要求。与PXI相比, PXI Express 主要的创新在于更高的数据传输速率、升级的

定时和同步功能以及向下兼容性。PXI Express系统实际部署数量的稳步增长就是这些技术升级的成果。此外, 越来越多的客户倾向于定制系统。结合以上2点就产生了对定制PXI Express系统的需求, 并要求制造商具有高度的灵活性。

本文诠释了如何构建一套功能强大的PXI Express机箱, 以满足市场不断提升的数据传输和灵活性要求。

## 2. PXI EXPRESS – 模块化的架构

### 2.1 对于PXI Express 机箱的功能要求

与其他系统如CompactPCI相比, PXI Express机箱不仅要包含无源背板, 还需要满足机械保护、电源和散热等多项功能要求, 同时提供精确的时钟和PCI Express & PCI信号架构。

因此, 市场应用就对PXI Express机箱就提出了如下的要求:

- 每个插槽都含有一个10MHz单端时钟、一个差分100MHz时钟和一个差分同步信号
- 在系统运行过程中, 对这些时钟信号进行无延迟、无中断的信号源切换(外部/内部/独立)也非常重要
- 通过一个或多个Express交换模块实现PCI Express总线扩展, 以构建更大的测量系统。这一扩展非常重要, 因为原生系统控制器支持的链路数量有限, 最多4个端口, 限制了直接点对点PCIe连接的数量。
- 通过PCIe-to-PCI桥接模块, 可以在PXIe机箱中运行除PXI Express插卡以外的传统PXI插卡(通过32位PCI总线实现)
- 机箱散热(风扇)为主动控制, 可将系统噪声降到极低水平, 这对实验室环境下的使用非常重要。
- 在PXI Express机箱的设计中, 所有以上需求都会增加成本, 与许多其他系统规格相比, PXI Express机箱组件明显数量更多、结构更复杂。

### 2.2 模块化PXI Express机箱的优势

与大多数模块化系统一样, PXI Express系统结构可以分为两大类。一个方面主要涉及功能插卡(例如处理器卡, 测量卡, IO卡等), 这些插卡根据应用程序的不同可组合使用, 可以实现PXI Express系统的各项功能。

另一个方面主要包括PXI Express机箱, 提供必要的基础构件, 包括冷却、信号传输、时钟调节等, 用以支持功能插卡的运行。系统层面上, 通过整个机箱中多个功能模块的组合来满足模块化的要求。依赖对机箱功能的划分, 主要模块只需要开发一次, 就可在多种系统中反复使用。

采用以上概念构建的PXI Express机箱, 其主要功能, 例如时钟生成、数据交换和冷却, 均可通过独立的和可更换的组件实现

这种机箱模块化结构大大简化了对现有系统改版或扩展的成本。这不仅缩短了产品上市周期, 还大大降低了开发成本和风险。一次性开发的功能模块可以在许多不同的项目中使用, 不需要进行新的开发、更改和认证。

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

## 3. PXI EXPRESS机箱架构 - 基于模块化的设计理念而构建

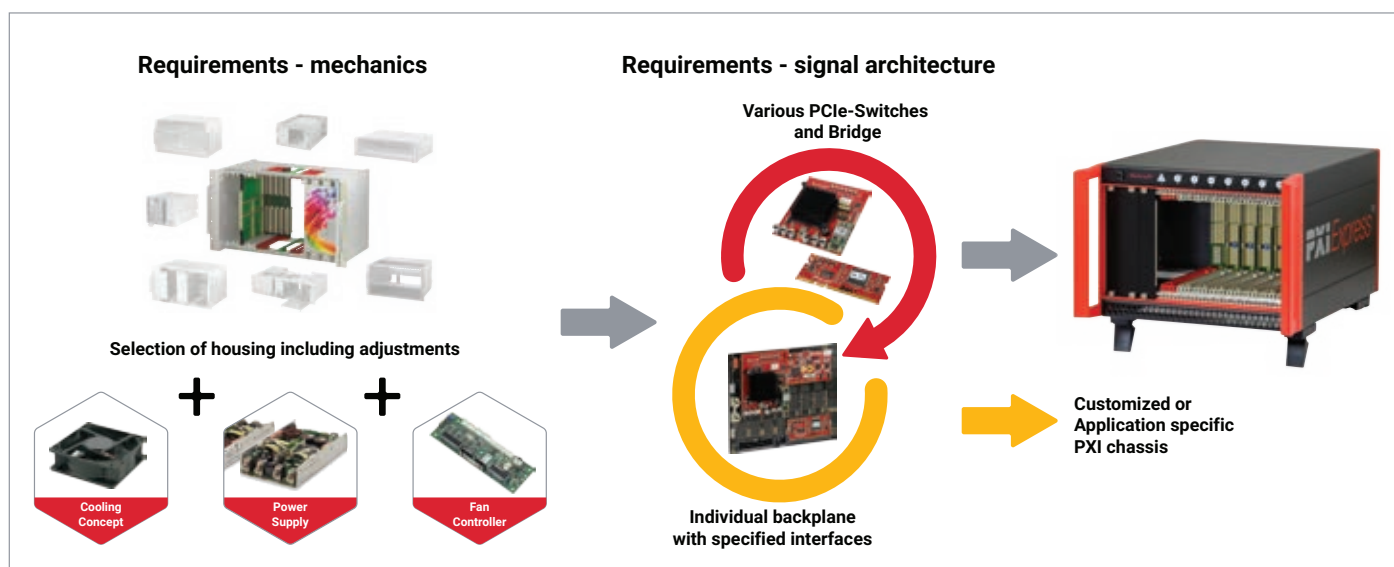
上面提到的模块化使PXI Express机箱能够使用已量产且经过验证的功能模块进行开发或定制。功能模块的配置基于用户给定项目的需求而会有差异。

以安装了12个Hybrid垂直插槽的PXI Express机箱为例, 首先需要选择合适的外壳, 然后叠加机箱设计的其他选项, 例如尺寸、颜色、手柄等。模块化架构不仅涵盖了PXI Express特有的时钟、PCIe交换等功能模块, 还考虑了PXI Express机箱机械结构功能和特性。除此之外, 机箱的EMC特性, 耐用性, 散热, 电源和其他参数也采用了模块化的设计理念加以构建。

仅以电源为例, 我们会根据机箱中插卡的性能要求, 从一系列PXI Express电源模块中选择合适的产品。散热设计也是从现有功能模块中选择, 然后两者组合在一起, 以符合客户需要的散热供电能力。有时还需要额外的修改, 并使用仿真工具验证所需的功能。

下图提供了PXI Express机箱各功能模块的组成示意图, 其中的背板为核心部件

## PXI Express机箱结构示意图



### 3.1 机械结构

耐久性、EMC性能、噪声等方面的要求因系统的应用场合不同而会有很大差异, 这些应用包括但不限于: 医疗技术、轨道交通、航空工业等... 重复利用过去已经获得广泛验证的成熟设计就变成了一种可靠的方案, 可以极大的减少开发风险。此外, 实际应用中经常会碰到更改机箱颜色或改变前/后面板, 这就要求机箱制造商具有高度的灵活性。nVent SCHROFF可提供大量经过验证的模块化标准机箱、插箱及19英寸机柜产品。



图片1: Selection of different SCHROFF subracks and cases

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

## 3.2 电源

精确稳定的电源是PXI Express机箱所有功能的基础, 必须满足最高的质量要求。在选择合适的电源时要对某些方面做特别考虑。PXI Express架构基于PC标准, 电压要求和管理信号都与ATX规范相同。因此可以使用传统的ATX电源, 但实际应用中不推荐此配置。对精确电压和精密控制的要求使大多数传统ATX模块无法被采用。

此外, 系统运行温度范围、框架尺寸、噪音水平和ATX电源模块缺乏认证都会引发更多挑战。在PXI Express机箱中, 可能会出现与负载分配有关的技术难题。在PXI Express系统中, 对+5.0V和+3.3V的需求巨大, 市场上的ATX电源是无法完全满足的。

下表显示了一个含有7x Hybrid 插槽的8插槽PXI Express机箱的电源负载分布示例。

|                       | 5V  | 3.3V | +12V | -12V  | 5Vaux | 总功率            |
|-----------------------|-----|------|------|-------|-------|----------------|
| 8 slot PXI Express 机箱 |     |      |      |       |       |                |
| 1x 系统控制插槽             | 9A  | 9A   | 11A  | -     | 1A    | 140W           |
| 1x 系统控制插槽             | -   | 3A   | 2A   | -     | 0     | 30W            |
| 7x 混合插槽               | 14A | 21A  | 14A  | 1.75A | 0     | 7x30W<br>=210W |
| 总电源需求                 | 23A | 33A  | 27A  | 1.75A | 1A    | 380W           |
| ATX-电源 (参考模型)         | 25A | 25A  | 144A | 1A    | 3A    | >1000W         |

图表2: ATX-PSU供电 和PXI Express规范(以8槽机箱为例)要求的对比

电源选择还必需确保在预期的产品生命周期内稳定供货, 以避免对PXI Express机箱和系统进行昂贵的重复认证。因此, nVent在PXI系统中使用了工业电源。它们具有PC系统Primary Voltage和Standby Voltage, 可将系统从休眠状态唤醒。该电源为模块化架构。各个电压电路可根据需求做出更换。

## 3.3 散热

均匀的散热是系统稳定运行的必备要素, 该指标取决于多个指标, 例如1)每个插槽允许的最大功耗; 2)所使用的机械外壳规格; 3)允许的温升 ( $\Delta T$ ) 以及4)通风量。通常通风量越大和允许的温升越高, 系统支持的散热功耗就越大。

在实验室测量常用的台式机箱应用中, 必须相应考虑风扇工作时产生的噪音。理论上测量板卡功耗上限是50W/单槽, 而系统控制器的上限是140W/单槽, 如此巨大的差异需要系统内散热风道设计是经过精确计算的。在一个8槽的系统中, 总功耗将达到390W。只有120m<sup>3</sup>/小时的风流量才能保证系统温升不超过15K。这样大的风量也可保证系统在高温环境中稳定工作。除了系统风量之外, 保证所有插槽间气流均匀分布也是需要重点考虑的因素之一, 因此建议使用各种类型的挡板, 导流板以避免系统内热源堆积, 气流旁路和阻碍。

系统满负荷时需要考虑气流方向和散热能力, 系统在有部分负载或空载模式下的运行状态也不可忽略。使用合适的风扇盘温度控

制器 (如nVent SCHROFF FCM2), 可以根据相应的运行模式自动调节风扇转速, 从而提高和降低系统风量, 节省能源消耗并降低噪音。理想情况下, 用户在还可以设置不同的风扇控制曲线, 使系统能够静音运行或在较低温度下稳定运行, 这在一些应用环境中是非常重要的指标要求。

## 3.4 背板

背板是PXI Express机箱的核心元件, 可实现多项基本系统功能。所有组件和测量板卡通过它可以相互连接, 背板性能会对PXI Express系统整机质量造成显著影响。

如前所述, 测量卡需要稳定电源是对PXI Express机箱的基本要求。这不仅需要高质量的电源实现, 而且背板的EMC特性和电源信号完整性也至关重要。例如, 电容的类型和位置以及背板电源部分的布线会影响电源的电压稳定性和谐振指标。在DC直流电源中, 最为关键的是3.3V和5.0V电压。在某些情况下, 即使是低电压也会导致测量卡损坏或测量不准确。

这些故障可能导致错误的测量结果, 在后续测量中也很难被检测到和纠正。为了解决这个问题, 必须考虑电源信号在背板上的频谱特性。此外, 每个电源在满载状态下最大直流电压降不得超过 50 mV



图片3: 热仿真&测试及噪声测量



# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

为了使PXI和PXI Express板卡保持同步,背板需要提供从时钟源和时钟槽位到所有板卡的同步时钟信号。在这里,机箱中所有功能组件之间时钟延迟是不可避免的。PXI Express规范定义了最大允许的板-板间时钟延迟(<150ps),对于差分时,最大内部延迟为<25 ps。实际应用中,建议背板延迟要进一步缩小至10ps,以实现系统的高性能指标和高精度信号,确保测量板卡的精确运行。设计PXI Express背板的另一个挑战是高速PCI Express数据线。

当前系统带宽高达16GB/s (4链路系统插槽, 16x PCIe Gen3) 或 24GB/s (2链路系统插槽, 24x PCIe Gen3), 不仅需要控制线路阻抗,还要对信号完整性,材料和元件选择以及信号布线策略进行各种调整。因此建议使用信号完整性仿真工具,在完成布线之前验证所有参数。进行最终测量时,再使用相应的规格参数验证设计质量。

PXI Express信号架构的一个缺点是系统插槽只有两个 (x16+x8) 或四个PCIe端口 (4x4配置)。这样的端口配置适用小型系统,此时所有功能板卡都连接到系统插槽,背板不需要有源电路元件。但是,如果增加外围插槽数量或向下与PXI兼容,就需要额外的PCI Express交换模块和PCIe到PCI桥接器。另外,参考时钟生成和切换是PXI Express机箱的另一个重要特性。图片3显示了18插槽PXI Express背板(内含16个Hybrid插槽)的信号拓扑。

标准PXI Express背板包含以上文章提到的所有功能,这对于大批量的产品交付是有利的。但是,如果您希望保持系统配置的灵活性,可以快速并低成本地进行调整和开发,则背板的设计成本和开发时间将在更改过程中显著增加。定制修改或新设计通常会导致极高的设计和认证成本,这将导致项目延迟,成本和风险的提高。

此时,模块化PXI Express机箱的优势就变得更加明显。以前设计的PCIe交换、PCIe - PCI桥接和时钟功能都能设置为独立的功能模块,并从背板拆卸。背板和功能模块之间的接口定义都是标准化的,能够适配所有客户应用。因此,背板在很大程度上可以在没有主动器

件的情况下独立工作,背板的走线或路由可以相对容易地适应项目的需求(例如不同的槽位数、插槽类型等)。以上的架构使背板成为PXI Express机箱中的核心元素,定制PXI Express机箱及其他定制PXI Express项目的主要不同即来源与此:使用模块化的架构满足不同项目需求,可插拔的功能模块可以重复应用于不同的项目中。

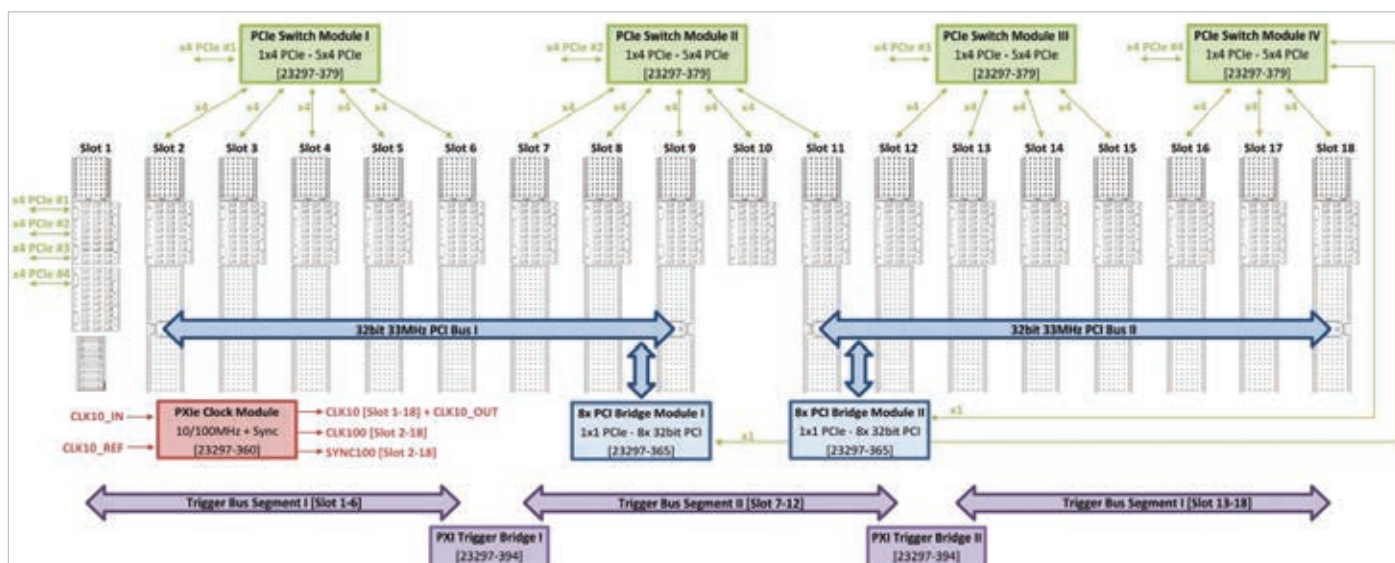
下图显示的即模块化的PXI Express背板



图片5: 8槽位PXI Express背板,安装有PXIe交换模块, PCIe-PCI桥接模块以及时钟模块

这种方法通过限制特定背板的信号线数量,减少了项目的开发时间。印刷电路板和背板的生产工艺也被简化(生产工艺更简单,没有BGA组件等),从而更加可靠。

此外,将功能划分为不同模块实现不仅便于系统维护,还可以在以后用新的或其他类型模块实现系统扩展。



图片6: 18槽全混合背板信号拓扑,背板含4链路系统槽位

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

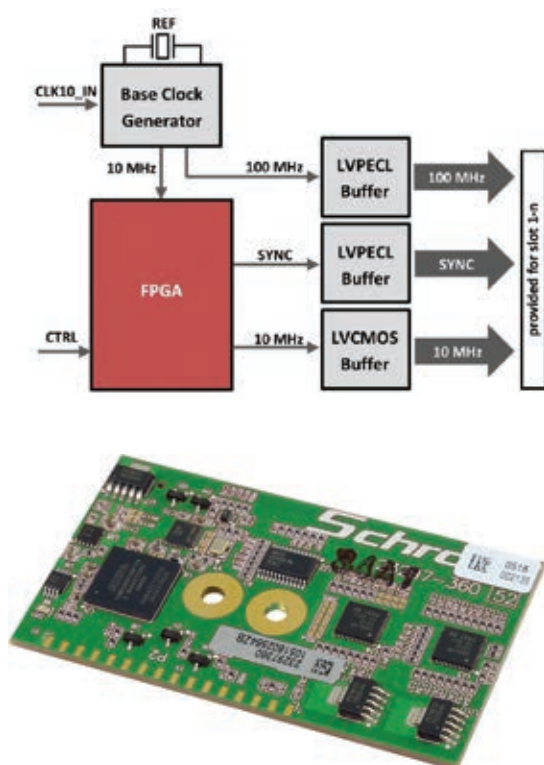
## 4. PXI EXPRESS 机箱 - 功能模块

### 4.1 PXI Express时钟模块

该模块能够基于精确的时钟实现高精度信号, 实现不同测量卡之间的精准同步。在PXI Express平台中, 该模块提供了一个由PXI-1派生的、兼容TTL/ cmos的10mhz时钟信号、一个差分100mhz LVPECL时钟信号, 以及每个插槽均可独立配置的差分同步信号。通过这些参考时钟之间的闭环时序关系, 无论插槽数量如何, 即使对同步精度和时钟稳定性具有最高要求的系统应用, 我们都能从容应对。结合可在一定范围内调节的高质量独立振荡器, 可实现低于25 ppm的长时间时钟稳定性和精度。

模块化的另一个优点是能更好地处理EMC电磁辐射, 尽管测量系统内信号强度很高, 但仍可有效降低对时钟的干扰。通过统一的布线策略和侧重于沿传输路径的低附加抖动的组件选择, 可实现槽位之间小于50ps的运行时间差异。

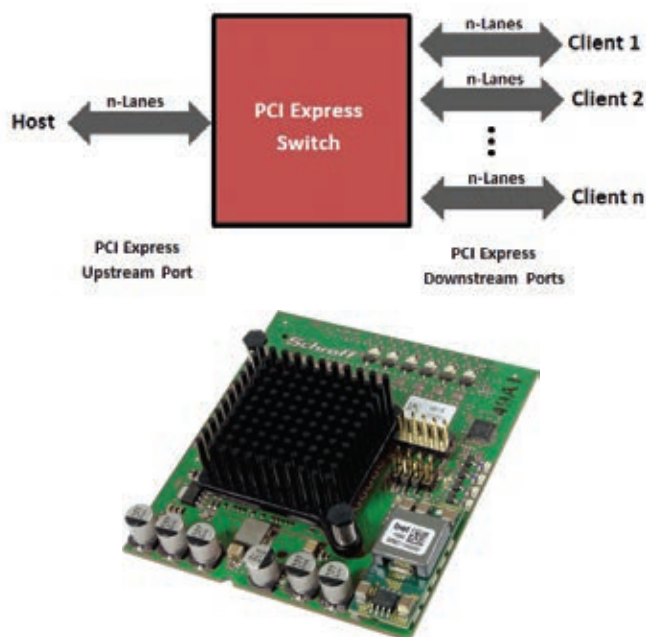
实现内部和外部精密时钟源之间的无延迟切换, 可以将PXI架构的定时功能发挥的淋漓尽致。此外, PXIe\_SYNC\_CTRL和PXIe\_SYNC100信号可以在系统运行期间通过用户程序进行修改。严谨的模块化设计和批量生产中的高度一致性保证了我们产品始终如一的质量, 能够满足测试和测量应用的精确时序要求。



图片7: PXIe 时钟模块

### 4.2 PXI Express交换模块

PXI Express系统控制器上可用的PCI Express端口有限(2或4链路配置), 为了增加外围插槽, 需要通过PCI Express交换模块将额外的插槽连接到系统控制器。在这里给出的模块化方案中, 端口扩展功能是由PCI Express交换模块实现的。它允许系统控制器将PCI Express端口扩展到多个外围插槽。插槽数量的简单扩展以及系统控制器设置上传专用端口使我们在模块化系统上实现PCI Express交换功能成为可能。



图片8: PCIe 交换模块

与直接在背板上实现交换功能的机型相比, 模块化设计使交换模块结构更为紧凑, 布局更为精细, 减少了寄生效应, 例如Signal Stub、信号耦合。高度的模块一致性, 结合高速连接器, 可将总插入损耗控制在3db @ 8GHz以下。通过选择合适的组件和优化信号布线, 使交换模块可以兼容即将到来的PCI Express 4.0规范。为了最大限度地利用系统带宽, 交换模块配置可实现高效的上行和下行带宽调整, 以避免对等节点之间的信号传输瓶颈。

此外, 扣板结构 (例如背板后面的交换模块, 见图片6), 可有效降低背板上有源电路元件密度, 精心选择的PCIe交换端口放大器使得背板的信号完整性相较于背板上直接安装交换芯片的方式更为优越。

通过以上方法, PXI Express机箱就能够使用PXI-1系列通用外设卡, 提高了系统的成本效益, 板卡间具备高互换性并可向下兼容。这降低了项目成本, 并将系统测试验证的要求降至最低。

# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

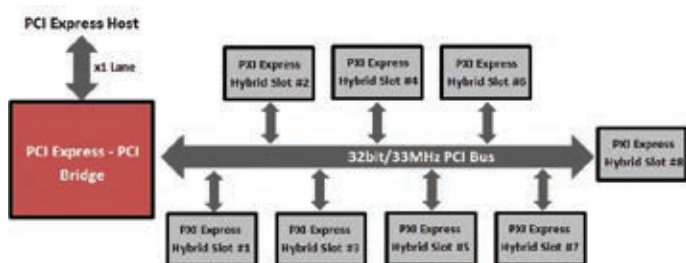
## 4.3 PCI 桥接模块

为了保持对PXI-1模块的兼容, 桥接模块需要在系统控制器的PCI Express串行总线和PXI-1兼容插槽的并行32位/ 33 MHz PCI总线之间提供转换接口。

在模块化PXI机箱中, 以上功能是通过以正向模式运行的PCIe-PCI桥接模块实现, 该模块符合PCI Express to PCI Bridge Specification 1.0。PCIe-to-PCI桥接模块可将最多8个PXI或cPCI设备连接到PXI Express系统控制器, 带宽为133MB/s, 从而确保最佳带宽利用率。

除了VIO支持+ 3.3V和+5.0V输入以外, 桥接模块选择的器件还可在工业应用的宽温环境下稳定运行。由于信号传输完全透明, PCIe-to-PCI桥接模块不需要任何额外的驱动程序或软件支持。它可以通过操作系统的即插即功能来识别。

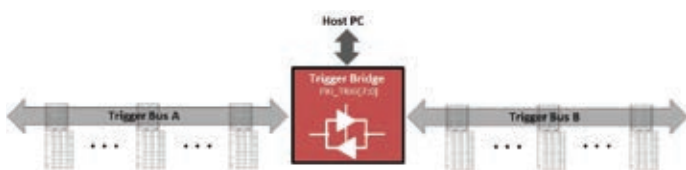
以下图片显示了桥接模块的系统框图



图片 9: PCIe-PCI 桥接模块的系统框图

## 4.4 桥接模块触发器

根据PXI Express PXI-5规范, 触发线段最多可包含8个总线用户, 同时必须确保各个触发线段之间的通信。因此, 对于更多数量的时隙, 必须借助于触发器将整个触发总线分成多个线段。触发器的软件必须保证专用的PXI\_TRIG [7:0]触发信号并能够单独配置, 以便连接或断开线段。



图片 10: 桥接模块触发器



# PXI Express 机箱 - 模块化结构, 专用于自动化及测试系统

## 5. 总结

今天的市场需要机箱制造商提供有高度灵活性的产品。用户不再完全依赖产品目录上的标准部件,相反在产品的设计和技术特性方面有很多个性化要求。这意味着许多PXI机箱项目需要修改甚至是全新设计。与其他平台相比PXI的架构更加复杂,因此PXI机箱的开发也愈发困难,同时会提高开发,设计和批量生产中的成本和增加风险。nVent SCHROFF基于模块化方法构建的机箱平台,可以在最大程度上降低这些成本和风险。模块化PXI Express机箱设计含有无源背板和实现复杂PCIe交换功能的独立交换模块,结合同样通过独立接口连接到背板的PCIe-PCI桥接模块和时钟模块可以为用户提供诸多方便,例如高可用性,缩短项目时间,大幅的降低成本,支持定制以及方便易维护等。

模块化PXI Express机箱各个功能模块的开发和实现需要各种学科的专业知识,涵盖了机械系统架构,特别是19"标准,散热和电源领域的知识和经验,一直到电源和信号完整性的专门支持。

### 作者

Christian Ganninger, Global Product Manager Systems

### General Introduction of nVENT Enclosure. China

欲获得更多产品信息,请访问:[schroff.nvent.com](http://schroff.nvent.com)

直接联系方式:

#### 茅峻峰

系统产品 - 亚太区产品经理

Alex.Mao@nVent.com

nVent SCHROFF

### 中国/上海办公室

电话: 021-2412 1665

上海市宜山路1009号创新大厦21层 200233

### 中国/青岛工厂

电话: 0532-8771 6101

青岛市城阳区流亭镇双元路南段西侧(空港工业园) 266108

### 中国/北京办公室

电话: 010-5965 4000 ext123

北京市东城区王府井大街138号新东安广场T1写字楼8层811 邮编100006

### 中国/沈阳办公室

电话: 024-2281 4177

沈阳市和平区和平北大街69号总统大厦C座2405室

### 中国/西安办公室

电话: 029-8133 4488

西安市唐延路22号金辉国际广场1307室

### 中国/成都办公室

电话: 028-8551 5042

成都市科华北路62号力宝大厦1011室 610041

### 中国/上海办公室

电话：021-2412 1665

上海市宜山路1009号创新大厦21层 200233

### 中国/青岛工厂

电话：0532-8771 6101

青岛市城阳区流亭镇双元路南段西侧(空港工业园) 266108

### 中国/北京办公室

电话：010-5965 4000 ext123

北京市东城区王府井大街138号新东安广场T1写字楼8层811 邮编100006

### 中国/沈阳办公室

电话：024-2281 4177

沈阳市和平区和平北大街69号总统大厦C座2405室

### 中国/西安办公室

电话：029-8133 4488

西安市唐延路22号金辉国际广场1307室

### 中国/成都办公室

电话：028-8417 0021, 028-8417.0035

成都市武侯区科华北路62号力宝大厦1003室 | 邮编610041

我们强大的品牌组合:

**CADDY ERICO HOFFMAN RAYCHEM SCHROFF TRACER**



[nVent.com/SCHROFF](https://nVent.com/SCHROFF)

©2019 nVent. All nVent marks and logos are owned or licensed by nVent Services GmbH or its affiliates. All other trademarks are the property of their respective owners.  
nVent reserves the right to change specifications without notice.

SCHROFF-WPCS-H83811-PXIExpress-ZH-1910