

NATIONAL INSTRUMENTS

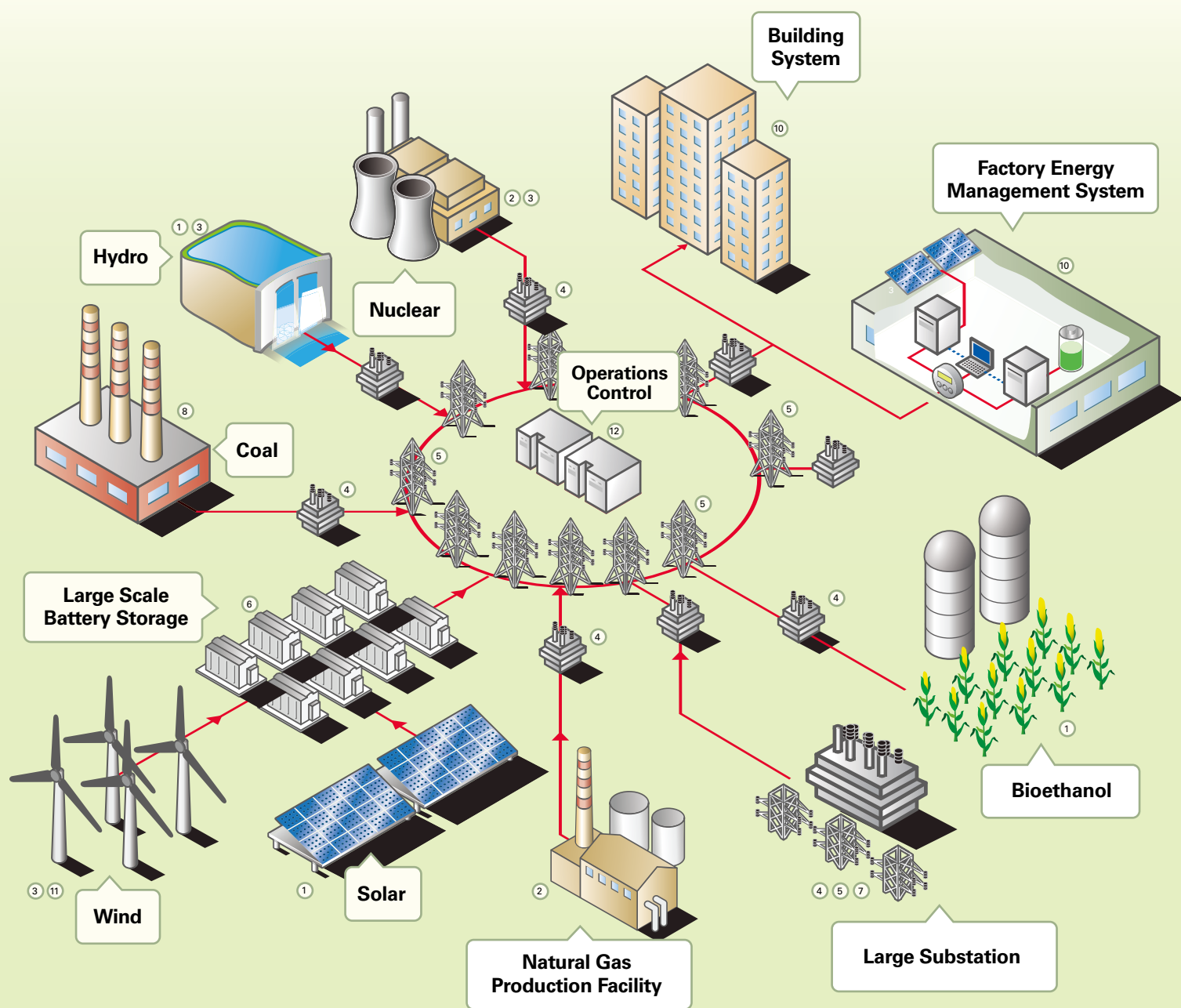
能源电力应用解决方案



ni.com/embeddedsystems/energy



智能电网——同一平台，多种解决方案。



图例

- | | |
|---------------|-------------|
| ① 监测和控制 | ⑦ 变压器监测系统 |
| ② 监测系统 | ⑧ 排放数据记录和控制 |
| ③ 设备与资产状况监测系统 | ⑨ 排放监测和泄露检测 |
| ④ 电能质量和配电自动化 | ⑩ 能源效率和可靠性 |
| ⑤ 故障定位 | ⑪ 控制系统设计和部署 |
| ⑥ 大型储能系统 | ⑫ 广域监测 |

现代电网的设计

过去十年中仅美国就发生了四次重大的停电事件。实际上在过去40年中，由于机械开关的响应时间过长、自动化分析的缺失以及可视化和情景知晓能力较差，停电和局部临时限电事件的发生日趋频繁。在美国，现代电力系统的可靠程度可达99.7%。但是每年美国由于停电断电造成损失至少达1500亿美元——大约相当于每人500美元。

此外，可再生能源技术也给电网提出了多种挑战。间歇性是一个问题——刮风和出太阳时风能和太阳能才能发电。对于中国来说，还存在另外一个问题：许多新能源都位于中国西部，远离城市。间歇的可再生能源需要与电网进行双向连接，还需要通过更新和更先进的输电和用电方法。

National Instruments将每年16%的利润投入到研发创新中，它与全球各个企业合作，致力于解决他们面临的技术创新挑战。

National Instruments提供了模块化、灵活的高性能硬件平台和支持高级处理、可自定制的软件平台，符合国际标准、协议和参数需求，支持行业最新的标准与规范，被广泛用于智能电网和新能源领域核心关键设备的设计、研发以及现场应用，为数字化变电站、分布式电源接入、智能用电和电力电子等领域提供技术基础，同时也为电力和新能源领域中的检定、计量与测试提供了灵活高效的解决方案。



Owen Golden
能源部副总裁

“ ENA电能质量分析器仪产品系列可根据最新的国际标准和客户要求的其他功能在短时间方便地进行修改或扩展。 ”

—Daniel Kaminsky, 博士
Elcom,a.s.总监

National Instruments公司之于能源行业

NI是测量和自动化领域的技术领航者和行业领袖，为现代测试、测量、控制和设计提供最先进的技术。借助于将图形化编程软件、模块和开放式硬件集为一体的图形化系统设计方法，NI重新定义了工程师完成整个设计循环的方式。从变流器 / 逆变器、有功 / 无功补偿、储能系统的控制，到微网的主监控系统，NI平台被广泛用于智能电网和新能源领域核心关键设备的设计、研发以及现场应用。

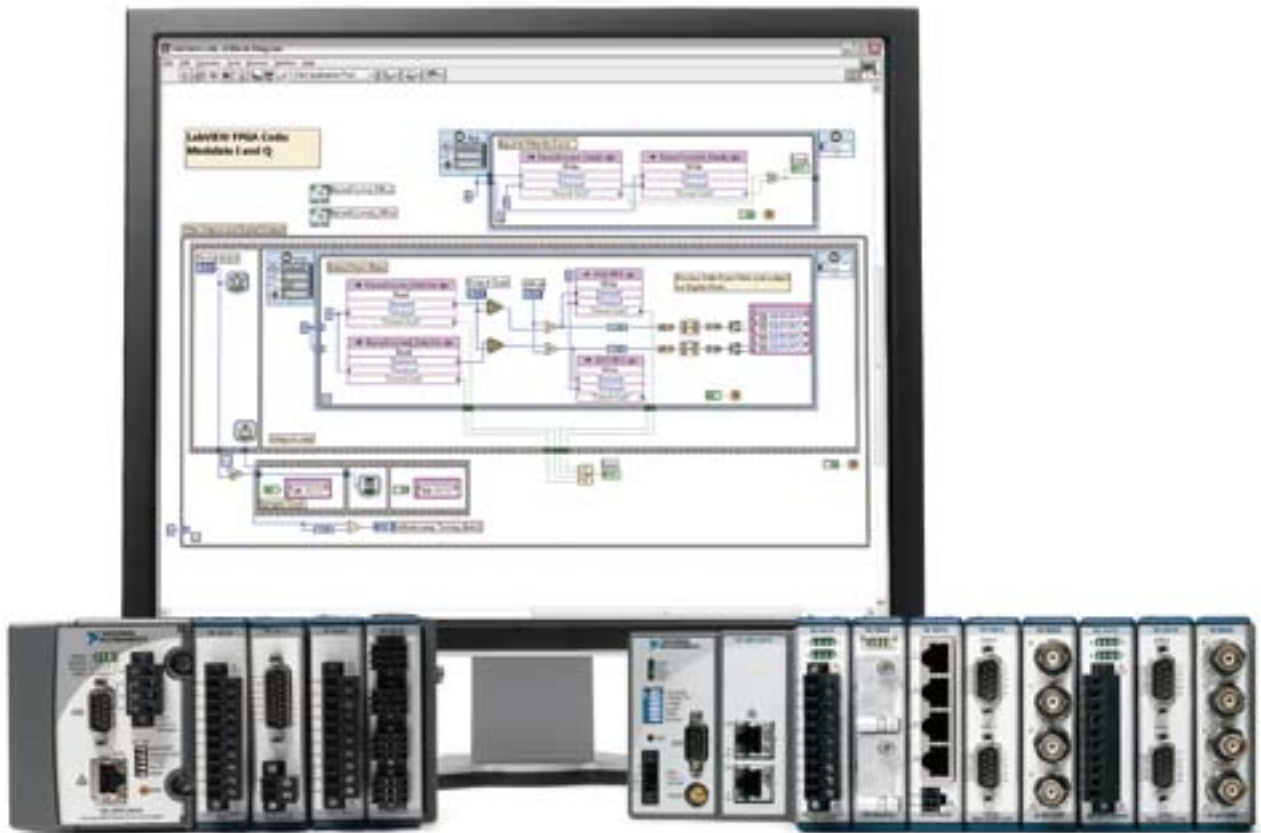
从61850到DNP3，从电能质量监测到同步相位测量，NI提供了符合国际标准、协议和参数的各类工具，支持行业最新的标准与规范：

- 电能质量监测符合IEC 61000-4-30 A级精度
- 支持IEC 61850 协议的解析和发送（8-1, 9-2）
- 同步相位测量符合最新标准IEEE C37.118 2011

NI图形化开发环境和模块化硬件平台为电力和新能源领域中的检定、计量与测试提供了灵活高效的解决方案，满足精度、同步、电磁隔离、可靠性等多方面需求。应用领域包括：

- 互感器校验
- 局部放电测试
- 变电设备监测 / 数字化变电站监测
- 风机部件生产检测 / 现场测试 / 低电压穿越测试





NI工业嵌入式平台

NI CompactRIO嵌入式测控平台为工业与嵌入式控制应用提供所需的高性能与高可靠性以及自定制的灵活性，CompactRIO提供了一个开放的嵌入式架构，包括内置的嵌入式控制器、实时操作系统、可编程FPGA以及小型、坚固且可热插拔的工业I/O模块。基于这种构架可以轻松实现分布式智能应用，丰富的I/O可以支持各类传感器或通过各种总线接口连接到各类设备，并且能够进一步支持自定义协议与接口。主要应用包括智能变电站监测、电能质量监测与控制、电力电子控制与仿真、微网控制系统等。

“ NI CompactRIO和NI Single-Board RIO使我们能够使用比传统测试系统更少、更经济的硬件组件来实现发电系统的现代化控制，它们具有快速分析和计算以及逻辑性强等优点，同时还兼具传统PLC所具有的坚固性和可靠性。 ”

- Patrick Wyse, TestWyse, LLC

可再生能源：风电

为了减缓气候变化而采取的各种策略为风电产业提供越来越多的机会。尽管自二十世纪八十年代以来风机的总成本降低了三倍，但近年来，组件和风机的成本增长了20% - 80%。由于这些成本的上升，企业正在寻求各种方式来控制或降低他们的成本。降低成本的两个主要驱动因素包括风机状态监测以降低运维成本，以及控制系统的设计、集成和部署以优化控制性能。

“ 我们之所以选择NI硬件作为我们的新测量系统是因为CompactRIO提供了一个可与温度、加速度、应变、通信和协议等多种传感器相连接的平台，并能够与主时钟设备同步。 ”

– Arnoud De Kuijper, T&M Solutions



“ PXI机箱用于传输断路器的状态并执行用户发出的命令。通信丢失或应用程序被损坏时，系统可使开关和断路器保持在安全位置。 ”

– Ana Morales, Energy To Quality S.L



Siemens

控制系统的设计和部署

Siemens开发出一款新型的实时测试系统，用于风机控制系统的嵌入式控制软件的硬件在环（HIL）测试。仿真器提供了一个有效验证软件功能和在实验室测试特殊状况的环境。NI LabVIEW软件和PXI硬件的模块化结构使得Siemens能够对系统进行扩展以满足不断变化的风电技术提出的越来越高的要求。



ACCIONA

风机组装动态诊断系统

针对风机组装后的测试阶段，ACCIONA Wind Power借助于LabVIEW开发了一款符合其严格质量标准的风机动态特性测试（齿轮箱和叶片测试）系统。ACCIONA系统的要求是强大、可靠、安装和使用灵活以及价格合理。该公司现在配备了一个完全自定义的系统，可通过20个通道对多个月份的动态数据进行读取和分析。



Riso National Laboratory

在线状态监测

丹麦的Riso National Laboratory展示了如何将声发射检测应用于叶片的结构健康监测。与应变计、光纤和探伤仪等能更准确定位故障位置的局部分析技术不同，状态监测技术可进行全局监测，其中部分或整个结构总是处于监控之下。

可再生能源：太阳能

太阳能技术可利用太阳能产生电力，是当今市场上发展最为迅猛的可再生能源。世界各地的科学家和工程师正在通过携手研发，降低太阳能电池的材料成本、提高太阳能电站的生产效率，并根据太阳能光伏发电技术（PV）和太阳能集热器技术，创建适合应用的创新方案。NI完整的工具和技术平台，对这些项目起到了促进和提升作用。



National Cheng Kung University

太阳能控制和监测

台湾国立成功大学开发了实时太阳能电池测量和控制系统以确保在各种环境条件下获得最大功率输出。借助LabVIEW和CompactRIO，该大学成功开发出可进行实时太阳能电池计算的系统，以确保在各种外围环境下获得最大功率输出。相比其它硬件平台，使用CompactRIO进行开发可节省大量时间。



Siliken

光伏测试和制造

西班牙第二大光伏制造商Siliken优化了太阳能电池板的生产和安装过程：从硅提纯到最终产品验证再到现场安装和监测等。该公司还借助于CompactRIO进行氢燃料电池等其他可再生能源领域的研究，借助于NI CompactDAQ进行风电方面的研究，因为相比其他传统的测控工具，这些平台操作极为简便且节省了大量开发时间。

“借助NI CompactRIO、NI LabVIEW FPGA和NI PCI-6122 S系列多功能DAQ卡，我方执行了这些具有更高精确度的测试并极大提升了处理能力。”

– Alberto Cortes, Siliken Renewable Energy

可再生能源：水电

可再生能源技术公司正在不断地壮大，他们投资绿色基础设施、清洁能源技术和更清洁能源的生产，从而帮助减少温室气体排放并建立一个更可持续发展的环境。各种监测计划对于了解水电站的运行情况至关重要，它们可帮助确保资产的利用率并防止意外发生。



TestWyse和Hidro Energia

监测和控制系统设计

TestWyse和Hidro Energia借助LabVIEW和CompactRIO对危地马拉、萨尔瓦多和尼加拉瓜水电设施的控制系统进行升级，以优化其性能和安全性，进而优化了利用水力产生电能的过程。由于这些国家的电网并不稳定，因此快速响应电网故障和可能的危险情况是非常重要的。由于此“智能系统”可自动化并可自给自足，因而能够在发生故障或紧急断电时及时清晰地进行通信，而无需依赖用户对此承担高度责任。



NTNU Waterpower

关于涡轮可靠性的操作模式

NTNU Waterpower借助于LabVIEW和CompactRIO开发了数据记录系统，用于测量各类运行模式及其对涡轮可靠性的影响。这些测量用于确定涡轮在任何条件下可靠运行所需承受的压力水平，这对资产利用率有关键性的影响。该系统用于测试挪威南部特雷马克Statkrafts Tokke高水头水电站涡轮整修项目所采用的新原型。

“在日新月异的高科技研发世界，RIO技术为我们提供了极大的优势。与全自定义解决方案相比，RIO不仅可节省大量的成本和时间，还为此行业提供的一个更大的益处，即它的可重新配置性可使我们根据测试计划和项目目标的重新定义进行快速更改。”

– Corey Jaskolski, Hydro Technologies总裁

传统发电

传统发电仍在满足日益增长的能耗需求中发挥重要作用。随着传统电力的普及，发电厂运营者和生产者也越来越重视安全性、排放监测和减排、以及可预测监测策略。管理这些发电厂的关键是管理临界和超临界资产，并了解它们的不同要求。



“ 我们使用LabVIEW代码替换了超过5万行的C++ 编程代码，并借助于LabVIEW重新利用了不易重新编程的C代码。这样，我们的专家就能为用户了解工业进程提供更真实的视角。 ”

– Wouter Termote, Laborelec



AMS

在线监测系统

AMS开发出一款针对沸水反应堆的在线监测（OLM）解决方案，用于控制处于不易接近的危险区域的机器。机械振动可对旋转机械部件造成损坏，并在许多情况下会严重降低机器的操作性和耐用性。连续监测振动和其他信号对于预测机械行为和效率非常重要，且通常要求进行连续数据采集和在线数据库分析。



EUtech

降低煤炭发电厂的排放

EUtech开发出一款移动式数据采集和控制系统，用于通过激光探针测量恶劣操作环境下煤炭管道的煤炭颗粒物。NI硬件和软件结合EUtech基于激光的新技术，创造了一款灵活、环保和节约成本的系统，该系统具有高采样率、测量精确以及高级信号处理能力等优点。



Laborelec

汽轮机转速维护和测试

Laborelec是一家总部位于比利时的技术公司，旨在升级现有的汽轮机转速控制器测试设备和软件，以创建一个便于用户使用、自动化、可移动的测试和仿真环境。这些升级实现了即时可视化，大大减少了开发和安装时间，并且保留了原系统所有的高端功能特性。

电力传输

停电的发生刺激了对广域可视化和情境感知能力的需求，以便在问题扩大影响之前对其进行检测和处理。尽管运转系统的控制工程师长期以来使用的是高性能计算和控制设备，但对于监测所有输电线路当前状态这一难题，新技术往往能取得更快捷更明显的效果，已在全世界广为应用的一种电网广域监测技术称为相位测量技术（PMU）。National Instruments与多个公共事业公司合作，旨在应对电能质量控制和监测、广域监测、可靠性、储能系统环境及功能测试等领域所面临的技术挑战。



ELCOM

通过电能质量监测为输电系统保驾护航

基于CompactRIO硬件和LabVIEW软件等商业现成可用工具，ELCOM开发了一款符合国际电能质量标准的电能质量分析仪。ENA电能质量分析仪产品系列可根据最新的国际标准在短时间内方便地进行修改、扩展。此外，基于NI CompactRIO和NI LabVIEW的灵活性，ELCOM仅花9周时间就开发了完整的PMU分析仪。



博洛尼亚大学

中压单线接地故障

意大利的博洛尼亚大学开发出一款基于微处理器的嵌入式自动化系统，可以针对故障所造成的电磁暂态进行测量和连续分析，以定位配电网中的单线接地故障。

“ ENA电能质量分析器仪产品家族可根据最新的国际标准和客户要求的其他功能在短时间内方便进行修改或扩展。 ”

– Daniel Kaminsky博士, Elcom,a.s.

储能系统

储能系统（ESS）和可再生能源技术相结合，是利用可再生能源实现电力生成与输送的关键。储能系统涵盖化学、电气、机械、热量等诸多类型。此节内容的重点是：电化学和电气ESS（如：电池、燃料电池、电容、超级电容或超级电容器）。NI技术用于研究、设计、测试和部署各类ESS，其范围从面向汽车类应用的燃料电池，到大规模电池测试。



Xtreme Power

并网型储能系统

Xtreme Power设计、建造、生产和运营了综合性能源存储和电源管理系统，称之为动态电力资源（DPR），为独立电力生产商、传输和分配公用事业单位以及商业和工业终端用户提供服务。DPR系统可以调节电能，并能使用快速响应和可配置的数字系统来同时执行能源市场需求的多个辅助服务，包括VAR补偿、提前巩固电力调度日计划、频率响应和梯度控制 / 平滑。



A123 Systems所开发的储能解决方案应用于智利Los Andes变电站

储能系统的数据采集和控制

Bloomy Controls与能源测试和验证的权威机构KEMA-Powertest携手合作，开发了一款用于评估和测试大规模储能系统的数据采集和控制系统。该数据采集和控制系统用于同步测量、记录和分析大量ESS信号，比如交流和直流电压和电流、环境温度和空气流量、以及与电池管理系统或主控制器的通信。最终系统性能结果将结合行业标准自动进行分析。

“ FPGA接口开放性的特点，帮助我们创建了自定义且高性能实时通信链接，从而实现了分布式实时闭环控制。 ”

– Richard Jennings, Xtreme Power

电能分配

部分电网保护系统的一个主要不足是它们无法准确监测配电线或变电站的故障来源。许多保护装置都存在的一个潜在问题是采样率和滤波器截止频率较低，以致所测信号高频部分数据缺失。为了实现电网的现代化，公共事业公司正在系统地研究和部署具有高级分析能力的智能电力设备。这些工具对于了解故障来源、隔离电力事件以确保迅速恢复和避免问题扩散起着重要作用。



“ 我们发现：借助LabVIEW和PAC（CompactRIO）的编程相比借助PLC和梯形逻辑的编程，不但效率提高10倍，还极大降低了设施自动化的成本。 ”

– Dave Brandt, Nucor Corp



与E.ON合作的隆德大学

接地故障检测系统

隆德大学开发了一款可灵活通信的便携式测量设备，它可记录电力系统的高频暂态并在线提供数据给多个用户。基于CompactRIO和LabVIEW的原型系统专为E.ON设计，该系统将通信技术与高性价比的灵活开发平台相结合，为电力系统各个部分的控制和测量创造各种机会。



NexGEN Consultancy私人股份有限公司

变压器监测系统

总部位于印度的NexGEN Consultancy私人股份有限公司借助NI平台设计了一款变压器监控系统（TMS），可采集、处理、分析重要参数，并与中央数据中心通信以分析遍布在覆盖了2800多个变电站的电力网络的配电变压器，并使其可视化。



Nucor Steel

能源效率和可靠性

Nucor Steel开发出一款用于钢铁回收设施的自动化系统，可降低能耗以符合国家的能源法规，同时还可改善工厂的安全性和效率。该公司借助NI CompactRIO和LabVIEW图形化开发环境，开发了多种工厂自动化解决方案，以精确测量回收钢铁和提高设施安全性所需的能耗。这可以实现能源的更有效利用，并减少工厂重新加热的次数。

天然气传输和分配

当地天然气公共事业公司投资了天然气分配管道，并致力于确保当地社区的安全。随着天然气的消耗增加，天然气公共事业公司正在利用技术确保输送系统的正常运行。公共事业公司和市政府正借助用于安全监测和泄露检测的先进技术来监测管道，以避免可能的危险并确保整修项目的实施。

“借助于CompactRIO硬件，我们可在建筑工地或桥梁等恶劣环境下安装具有高可靠性的系统，从而连续监测并确保裸露的天然气管道的安全。”

– Sung-Kyung Hong, Research Development Institute, Korea Gas Corporation



“ LabVIEW和ADI Blackfin处理器相结合可同时满足产品迅速上市和质量要求所需的高稳定性、多功能性、高性能和超长电池寿命。 ”

– Marco Schmid, Schmid Engineering



Korea Gas Corporation

安全监测系统

Korea Gas Corporation开发了一款天然气管道安全管理系统，用于监测连接到桥梁的裸露天然气管道。为了确保完全的安全性，Korea Gas需要一个高度可靠、24小时工作和即使处于恶劣环境也不会停工的监测系统。而选择CompactRIO作为该系统的硬件是基于CompactRIO的稳定性和耐久性。



Bjørge AS和Schmid Engineering

管道监测系统

Bjørge AS与Schmid Engineering携手合作，部署了一个使用LabVIEW和 Analog Devices Blackfin处理器的管道监测系统，以监测从挪威海岸的Ormen Lang延伸至英国东岸的1200多公里朗格里德管道。该监测系统必须能在极深的海底环境工作，这包括汹涌的水下暗流、低至 -1 的温度和高达150 bar的压力等级。



Synodon

天然气排放监测和泄露检测

Synodon是一家总部位于加拿大的技术公司，它开发了一种空中远程天然气感应技术，可用于测量大气中的天然气含量。Synodon的该技术已获得专利，它为公共事业公司和天然气管道部门提供天然气排放监测和量化服务。

基于CompactRIO的分布式太阳能发电站现场监测系统

作者：覃剑欢 - 上海聚星仪器有限公司



CompactRIO运行在高海拔地区

客户需求

客户希望构建一套太阳能发电站现场监测系统，监测对象包括1 MW太阳能发电站中数十个光伏发电组件汇流箱的电流、电压，蓄电池电流电压、逆变器直控柜电流电压，发电站现场总辐照度、直射辐照度、温湿度、风向、风速等气象参数。监测系统一方面对太阳能发电站中各光伏组件、汇流箱、直控柜进行工作状态监测和故障诊断，另一方面可积累长期的太阳能发电站系统数据，为后续太阳能电站的选址、建模、优化等提供重要的数据依据。

技术挑战

太阳能发电站通常建造在日照充足的高原地区，如我国青海、西藏等地，最高海拔可达5000 m以上，最低气压仅为0.5标准大气压，且温差较大（现场温度-30度至60度），对测试设备的耐高海拔、低气压、宽温等性能提出了较高要求。此外，大型太阳能发电站由多个光伏型发电组件（光伏板）和汇流箱组成，汇流箱把相邻几个发电组件的直流电流汇总后输入逆变器，汇流箱之间距离较远，为30 m至数百米，因此需为每个汇流箱配备一台测试设备，多台设备组成局域网，构建分布式测试系统，由中央监控室的PC上位机统一读取数据和发布指令。此外，测试设备一旦部署发电站现场，由于发电站现场气候和海拔等原因，测试设备一般不会留专人维护，而采用远程数据监控和管理，因而对测试设备长时间无故障连续工作的性能提出了较高要求。发电站现场大功率逆变器（几kW至几MW）会产生较强的电磁辐射，测试设备需要具备很好的抗电磁干扰能力。

综合上述描述，太阳能发电站现场测试设备需要具备以下特点：

- 1. 适应高海拔、低气压、大温差的工作环境；
- 2. 具备长时间7/24不间断工作无故障性能；
- 3. 可基于网络组网，构建分布式测试系统，并且可根据需求灵活增减测试站点；

- 4. 网络传输稳定，具备断网重连，数据缓存重发机制，确保数据的完整性；
- 5. 具备较高的抗电磁辐射能力；

硬件平台

根据客户需求，为客户选择了NI CompactRIO平台。

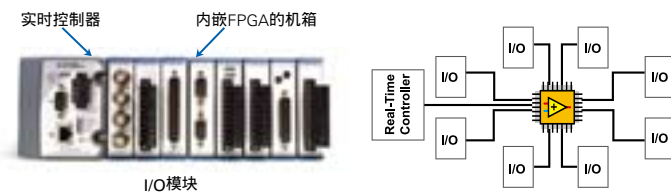


图1. NI CompactRIO的硬件架构

NI CompactRIO是一款工业级嵌入式测控平台，如图1所示，外形小巧而坚固，满足苛刻的工业级指标，具有宽温（-40 -70 ）和抗冲击（50 g）等特性，特别适用于复杂工业现场环境中对可靠性有严格要求的应用等。

CompactRIO系统由控制器、机箱（内嵌FPGA芯片）和采

集模块三部分组成。CompactRIO内嵌PowerPC微处理器和FPGA芯片，支持上百种可热插拔的I/O模块，模块中内置信号调理功能和数模转换电路，可直接连接电压、电流、电荷、ICP接口、电桥以及TEDS传感器。用户可根据传感器需要选择相应的采集模块实现数据采集和记录功能。此外CompactRIO实时控制器中配置了千兆以太网接口，可多台CompactRIO组网拓展同步测试通道数，或构建分布式测试系统。

硬件选型

NI cRIO-9073：

集成了主频266M实时控制器和Xilinx 2M门FPGA的一体化平台，支持8块C系列I/O模块，属于经济型控制平台，性价比高，用于完成分布式子系统的数据采集、存储、TCP发送和断网重连重发等功能；

NI 9205：

支持32单端/16差分 ± 10 V电压输入，I/O集成度高，并且可灵活配置单端和差分输入端子的数量，用于测量太阳能电站中各汇流箱和直控柜中的电流电压；

NI 9217：

支持4通道RTD温度采集，24-bit ADC，精度高，用于测量太阳能电站中各蓄电池组温度和现场环境温度；

性能评估：

应客户要求，为客户提供了CompactRIO原型验证，实现了数据采集、TCP发送、在线存储、断网重连重传等功能。客户把CompactRIO原型机与其他品牌设备至于某太阳能发电站现场测试了2个月，CompactRIO以长时间工作无故障、数据不丢失、断网可重连重传、抗干扰能力强等优势胜出，而其他品牌设备则出现长时间运行死机、数据丢失或不更新、网络传输中断等瑕疵。最终客户认可并选择了CompactRIO

平台，我们为客户设计CompactRIO分布式测试系统的硬件架构和软件设计。

系统工作原理：

目前，基于CompactRIO的太阳能发电站分布式测试系统已经应用到浙江、青海、西藏等太阳能电站中。

在客户需要实时监测的1 M太阳能发电站中，包含40个25 kW的发电组串（每个组串有10个光伏发电组件），每个组串配置一个汇流箱，用于汇总每个组件中各个光伏发电器件的电流，输出至中央监控室的直流控制柜（直控柜），直控柜把各个汇流箱输入的电流再次汇总，给蓄电池充电，或直接输入逆变器的直流电源端。

在系统实施中，监测对象选取了其中的20个太阳能发电组串的汇流箱（室外），1个直控柜（室内），日照总辐照度、日照直射辐射度、温度、湿度、风速、风向各一个。



图4. 聚光式光伏型发电组件及其控制、汇流、测试设备



图5. 光伏型发电组件汇流箱



图2. 平板式光伏型发电组件



图3. 聚光式光伏型发电组件



图6. 与汇流箱对应的CompactRIO数据采集监控系统



图7. 中心监控室直控柜、逆变器和监控系统

硬件构架

为20个室外汇流箱各配置一套以CompactRIO为采集核心的监测设备，相互距离间隔为60 m；气象参数采集配置一套CompactRIO；距离100多米的室内直控柜电流电压采集配置一套CompactRIO，共22套CompactRIO采集设备，基于交换机组成局域网，传输物理介质采用超五类线和光纤连接。每套CompactRIO采集设备中安装了电流电压传感器和变送器，把电流电压或气象信号均变换为电压信号，输入电压采集卡NI9205中，CompactRIO把32路电压信号通过TCP方式传输至中央监控室的PC中显示和存储。22套CompactRIO信号采样率均为1 S/s，监控PC基于绝对采集时钟同步，写入后台SQL数据库中。

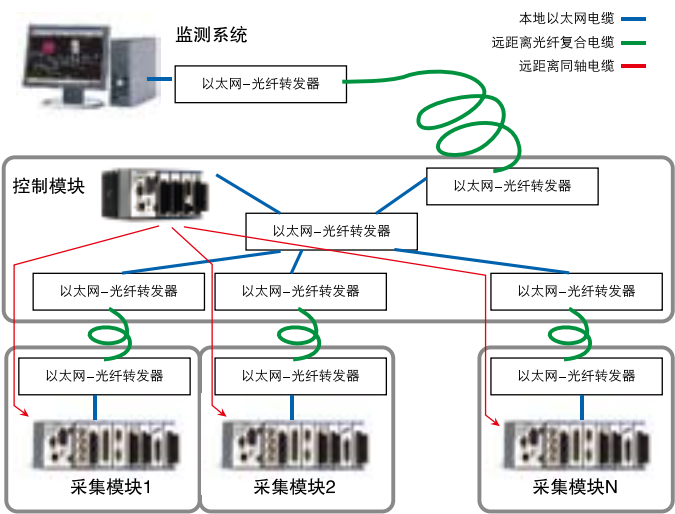


图8. 分布式太阳能电站现场监测系统硬件架构

为了应对逆变器的强电磁干扰，在室内直控柜的CompactRIO测试设备中，硬件上加入了电源滤波和信号低通滤波，CompactRIO底层采集软件中采用高速采集加平均滤波的方式，确保采集数据的真实可靠。

软件构架

系统软件设计包括CompactRIO采集软件、PC人机界面和后台SQL数据库。

1. 聚星CompactRIO开发者套件

聚星CompactRIO开发者套件定义了一个标准化的软件框架，以动态调用的方式并行实现了数据采集和分析、数据上传和命令响应、数据流盘、调试接口等诸多功能，适用于所有的CompactRIO平台。此外，该套件提供一组模块化的VI库，对不同类型信号的采集任务模块化与规范化，兼顾了效率优化和功能拓展等需求。基于CompactRIO开发者套件的软件框架和VI库，用户只需简单的配置和修改，即可快速建立定制化的数采记录系统，缩短开发周期，节约开发成本。同时，软件的高度标准化和模块化，便于系统的拓展，如硬件的更新、测点的增加和修改等。

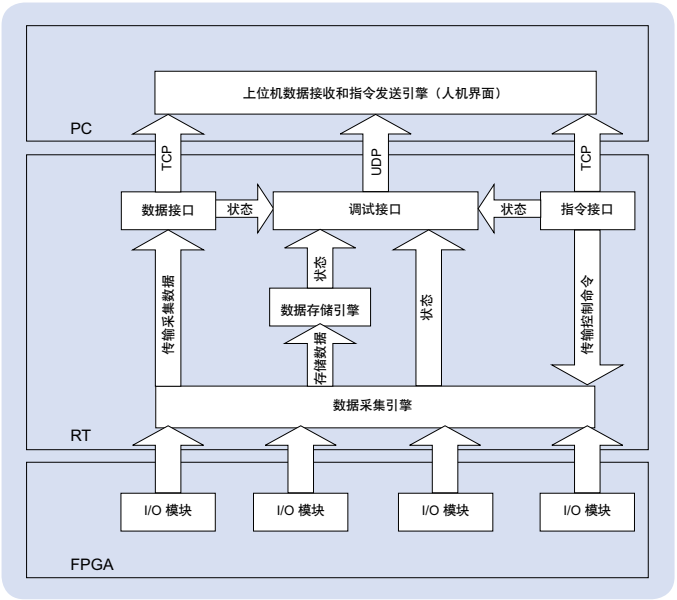


图9. CompactRIO数据采集软件结构

太阳能电站监测的CompactRIO软件设计采用了CompactRIO开发者套件中的标准框架和模块，实现了32通道电压的分项数据采集和低通滤波、TCP发送、断网数据缓存和重连重发等功能。

2. PC人机界面

聚星CompactRIO开发者套件定义了TCP数据包格式和指令格式，上位机只需按照预定义的数据格式解析和封装即可实现与CompactRIO的数据交互。此外，CompactRIO开发者套件还提供了除LabVIEW外，C#、Java、Delphi等开发语言的上位机TCP数据通讯例程，便于用户根据编程语言习惯进行非LabVIEW的上位机设计，实现与CompactRIO的数据交互。

该项目中PC人机界面采用聚星的聚星分布式数据采集及分析系统软件，上位机通过TCP/IP向各采集终端CompactRIO发送控制指令，并接收各采集终端CompactRIO的数据，实现了以下功能：

- 显示各CompactRIO主机CPU占用率及硬盘空间
- 设定数据存储模式，控制数据采集开始或停止，显示数据采集进度
- 概览功能页面监测各采集终端所有通道信号（包括物理通道和虚拟通道）的瞬时值、最大值、最小值、平均值及RMS值等统计值
- 实时监测功能页面对指定通道进行数据实时时域显示和频域分析，有单波形窗口视图、上下双波形窗口视图及上下左右四波形窗口视图等选择
- 数据存储及回放，离线分析

3. SQL数据库

基于LabVIEW数据库工具包，与微软SQL数据库进行交互，将采集数据分析汇总后逐项写入SQL数据库对应表中，各离线分析软件从SQL数据表中取数进行模型分析和验证。

总结

基于CompactRIO的分布式太阳能发电站测试设备，可实时监测各个组件的工作状态，进行故障报警，便于太阳能电站的维护；同时，通过对长期电站参数的分析和建模，可为太阳能电站的选址、设计和评估提供强有力的数据基础和数学模型。

基于FPGA开发静态无功补偿控制器

作者：陈彦丰 - 上海聚星仪器有限公司

“我们在NI CompactRIO平台上开发的SVC全数字控制系统，大大缩短了产品上市的时间又保证了系统的稳定性。”



挑战：

电弧炉、轧钢机等大型工业设备在为企业创造产值的同时也带来了无功分量和高次谐波等危害，他们直接导致系统电压的波动和闪变，给电网造成了严重的“污染”。

解决方案：

迄今为止，安装静态无功补偿装置（Static VAR Compensator，简称SVC）是解决上述问题最有效的方法。客户采用cRIO-9114机箱配合cRIO-9012控制器轻松实现了对TCR+TSC型SVC高达 μ S级的控制。高可靠的FPGA技术和简单易用的LabVIEW软件平台为客户节省了大量开发时间，模拟输入模块NI 9205、NI 9215和5V/TTL高速双向数字I/O模块NI 9401、NI 9403出色地完成了从数据采集到脉冲控制的全过程，使这套基于FPGA的SVC迅速有效地完成了对输电网的优化。

从发电厂输出的电能都是以交流电的形式进行配送的，当交流电在通过纯电阻的时候，电能都转成了热能，而在通过纯容性或者纯感性负载的时候，并不做功。也就是说没有消耗电能，即为无功功率。当然实际负载，不可能为纯容性负载或者纯感性负载，一般都是混合性负载，这样电流在通过它们的时候，就有部分电能不做功，就是无功功率，此时的功率因数小于1，为了提高电能的利用率，就要进行无功补偿。

传统的无功功率动态补偿装置是同步调相机（Synchronous Condenser-SC），它是专门用来产生无功功率的同步电机。由于它是旋转电机，因此损耗和噪声都较大，运行维护复杂，影响速度慢，已无法适应无功功率控制的要求。所以20世纪70年代以来，同步调相机开始逐渐被静止无功补偿装置（SVC）所代替，这种电子装置能够提供为高压电网提供迅速变化的有功功率。

SVC研发背景

我国研究和应用SVC已有20多年历史，研制出不少产品，但这些产品大多集中在工业和配电领域，容量一般为10~55 Mvar。20世纪八、九十年代，我国输电系统5个500 kV变电站安装了6套容量为105~170 Mvar的SVC，均为进口设备，国内第一套应用于输电网的SVC于2004年9月投运，为电力系统中SVC的国产化和产业化打下了基础。

输电系统的SVC对可靠性要求极高，需要采用全数字控制，此系统要求逐点计算，以一个工频周期采样100个点来算，逐点控制循环的速率也在200 μ s，如果要计算高阶谐波，控制循环速率会更高，属于 μ s级的闭环控制，因此只有硬件级控制的方法才能满足要求，NI CompactRIO不仅集成了FPGA硬件而且特别适合工业现场控制，十分符合全数字控制系统的要求。

TSC+TCR型SVC

SVC有三种基本配置：1. 固定电容器+晶闸管控制的电抗器(FC+CR)。2. 晶闸管切换的电容器(TSC)。3. 晶闸管切换的电容器+晶闸管控制电抗器(TSC+TCR)。其中，TSC+TCR的组合在通常情况下都是最优解决方案，用TSC+TCR补偿器可以获得连续变化的无功功率并做到对补偿器的电感和电容部分的完全控制。

基于NI CompactRIO的全数字控制器

TSC+TCR型SVC主要由全数字控制系统和TCR、TSC阀组构成，全数字控制系统的控制精度和响应速度直接影响到SVC能否有效解决负载带来的电能质量问题，是SVC的心腹要塞。

传统的控制算法是基于DSP实现的，我们的客户之一某SVC设备供应商之所以选用NI CompactRIO，主要因为DSP板级的开发和调试周期都比较长，自己开发的DSP板可靠性和稳定性又无法保证，为了产品能尽快交货又保证质量，工程师最终选择了集成FPGA技术的CompactRIO平台，在一个月内完成了全数字控制系统的发布。

如图1所示，“电压测量”环节由NI 9215模块测量被控的正序电压，包括3相母线电压、3相负载电流和3相源电流， V_{ref} 是根据要求设定的电压参考值，“电压调节器”会根据测量电压 V_m 和参考电压之间的差值，计算出要保持母线电压恒定所需要的并联电纳值 B ，“分配环节”决定了TSC（晶闸管投切的电容器）是否需要投切、计算出TCR(晶闸管控制的电感器)需要并入的“点火角”，最后由同步单元利用锁相环（PLL）跟踪次级电压，严格与工频同步并根据“点火角”在不同的相位给晶闸管发出控制脉冲。

整个过程都在CompactRIO上完成，客户采用cRIO-9114机箱配合cRIO-9012控制器轻松实现了对TCR+TSC型SVC高达 μ S级的控制。高可靠的FPGA技术和简单易用的LabVIEW软件平台为客户节省了大量开发时间，模拟输入模块NI 9205、NI 9215和5V/TTL高速双向数字I/O模块NI 9401、NI 9403出色地完成了从数据采集到脉冲控制的全过程，使这套基于FPGA的SVC迅速有效地完成了对电网的优化。

用户感言

“我们原来使用DSP开发板开发核心控制算法，再进行外围硬件电路及外壳设计和封装。现场运行的反馈是稳定性差，调试排错困难，导致整个控制器的上市时间延长。在上海聚星仪器的协助下我们尝试在NI CompactRIO平台上开发控制算法，硬件接口逻辑设计，上下位机通信等功能，算法开发时间得到有效缩短，最终控制器发布并安装到现场后系统稳定性大大提高。目前已销售了多套在NI CompactRIO上实现控制器的静态无功补偿器。”

硬件：CompactRIO，cRIO 9012，cRIO 9114，NI 9205，NI 9215，NI 9401，NI 9403

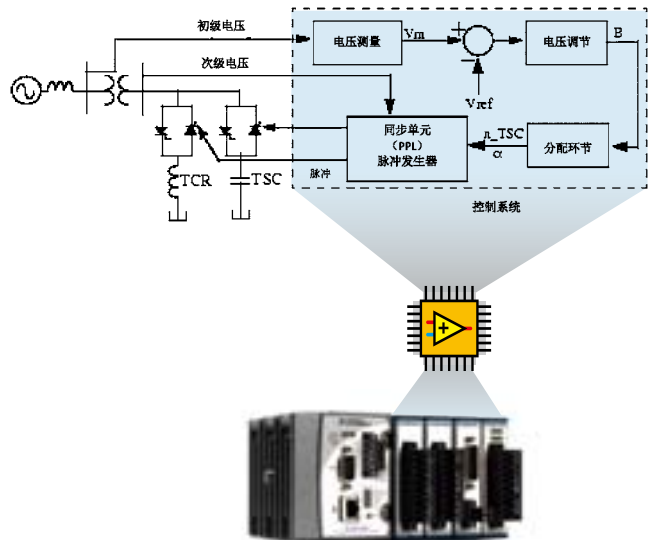


图1. 基于NI CompactRIO 的SVC全数字控制系统

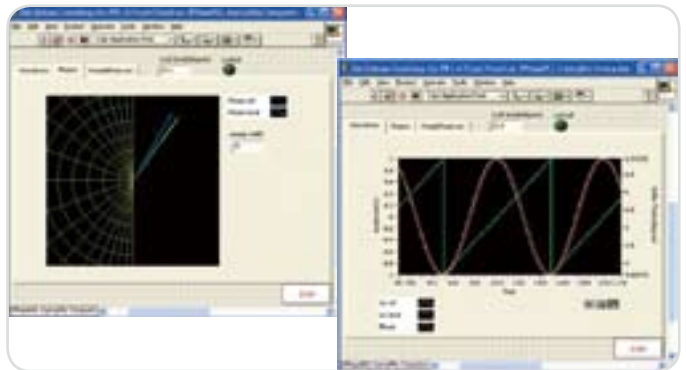


图2. LabVIEW编写的PPL环节界面

基于NI RIO平台开发并网型储能系统控制器

作者：Richard Jennings - Xtreme Power

“ FPGA接口开放性的特点帮助我们创建了自定义且高性能的实时通信链接，从而实现了分布式实时闭环控制。 ”

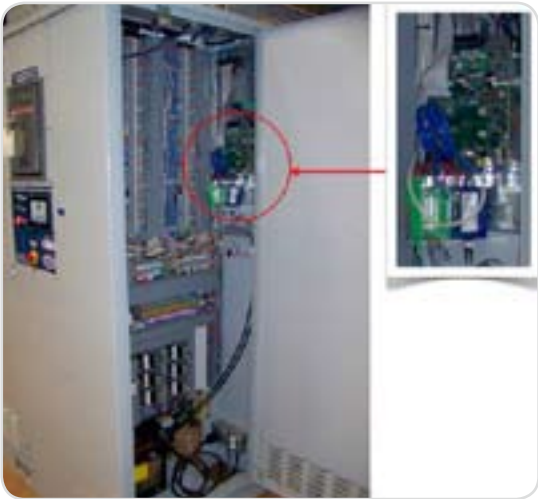


图1. 逆变器机箱内配备嵌入式NI Single-Board RIO，用于本地控制并通过光纤网络与中央PXI系统进行通信。

挑战：

创建一个可扩展的控制系统来管理兆瓦级规模的能源储存并提供数字电力管理系统。

解决方案：

使用R系列可重新配置I/O（RIO）硬件和分布式NI Single-Board 设备构建集中式的PXI系统，连续测量能源电网的电能和电能质量，并通过控制功率转换器和储电单元网络来管理能量流。

Xtreme Power（XP）设计、建造、生产和运营了综合性能源存储和电源管理系统，并称之为动态电力资源（DPR），为独立电力生产商、传输和分配公用事业单位以及商业和工业终端用户提供服务。DPR系统可以时移电能，并能使用快速响应和可配置的数字系统来同时执行能源市场需求的多个辅助服务，包括VAR补偿、提前固定日的计划、频率响应和梯度控件/平滑。

DPR由安全且高效的XP PowerCells、高性能的电力电子设备和可配置控制系统组成，每个组件的大小都根据每个客户各自的电力和能源需求而设计。我们将所有的主要组件都融入一个大型、实际可用的系统，该系统可与客户现有或计划的基础设施搭配使用。

通过输电网络的细节可以了解DPR的作用。在任何时候，流入电网的电量（又称供应或生成）必须等于流出电网的电量（又称需求或负载）。过去，这都是由控制几个大型、集中的发电所来管理的。这些发电所通过调节输出功

率来平衡电网的供需。

随着新技术包括大规模应用的风力发电和太阳能光伏（PV）的日益普及，电网方程（实时供给=实时需求）变得更为复杂。风能和太阳能等可再生能源都引入了生产可变性，能够在非高峰时间或对能源需求低的时候生产电能。能源储存系统可以合并作为一个供需的缓冲区，最大限度地提高可再生能源的潜力并确保电能的无缝输送。

此外，能源储存系统可以快速响应电网的变化，以帮助减轻谐波或电感负载所引起的不稳定状况，并为需求和产生过程中的不平衡状况提供快速响应。这些技术支持目前只由化石燃料生产提供，并统称为辅助服务。如果没有这些服务，电网的可靠性会较差，而这些服务的重要性必须通过更高的市场价值来体现。安装DPR就可以提供这些利润丰厚的服务，这相比传统产生方式响应速度更快且排放物更少。

为了充分开发兆瓦/兆瓦时规模的能源存储系统的潜力，我们

需要建立一个灵活、快速的控制系统。以下为该系统的各种技术要求：

- 电网内三相电压和电流信息的精确高速测量
- 自动发电机控制的高级算法，包括多个逆变器/电池子系统之间的高速、同步响应
- 从500 kW到几兆瓦的可扩展性
- 遍布全球的远程数据访问，用于系统诊断和管理

除了满足这些技术要求之外，我们作为一个创新的小型私营公司还曾不得不在短时期内凭借几个工程师之力开发和部署了我们的控制系统。

为了实现这些目标，我们设计了一个含有集中测量单元的分布式能源存储系统，测量单元包含一个主控制器和多个配备远程控制器节点的分布式逆变器/电池组。主控制器端是通过NI PXI控制器和多个R系列现场可编程门阵列（FPGA）以及扩展C系列模块实现的。PXI系统测量电网电能，运行算法以确定电池组输入输出的能量流，并向分布式节点发送命令。它还将操作数据传输至主机托管的服务器，服务器将收到的数据记录在SQL数据库中，可以通过Web服务器进行本地和远程的数据访问。PXI系统发送控制命令，并与分布式逆变器/电池组交换实时数据。

通过增加更多的逆变器/电池系统，我们可以将装置规模从500 kW扩大至几兆瓦。控制系统反映了这种可扩展性并且每个逆变器都有一个嵌入式NI Single-Board RIO控制器。NI Single-Board RIO控制器可通过以太网和自定义光纤连接与PXI系统进行通信。以太网用户数据报协议（UDP）用于大容量数据命令，而自定义光纤连接用于PXI机箱中FPGA R系列模块和NI Single-Board RIO控制器上FPGA之间严格时序的直接通信。FPGA接口开放性的特点，帮助我们创建了这个自定义且高性能实时通信链接，从而实现了分布式实时闭环控制。

每个NI Single-Board RIO与一个完整的四象限变频器相连，同步传输有功功率（瓦）和无功功率（伏安反应，或者‘VARs’），从而使DPR同时提供多种服务。当电网中断时，这些电力电子技术仍旧可以保持活跃，使低电压和零电压得以通过。变频器可在不到15微秒的时间内寄存命令，并在不到1毫秒的时间内响应该命令。DPR可以在不到一秒钟的时间内从完全额定充电（+ MVA）状态调整至完全额定放电（-MVA）状态来响应控制信号。NI Single-Board RIO还

与一个电池健康系统进行集成，该系统用于监控每个电池的充电状态，运行分布式保护算法来管理电池。

凭借NI硬件和LabVIEW系统设计软件，对于FPGA和实时目标到用于用户界面和诊断的PC，我们只需使用一个集成开发环境。NI图形化系统设计方法帮助我们专注于我们的应用程序，而不是纠缠于底层的语法和实现细节。凭借高生产率的工具、快速原型设计和重复开发的能力，我们的软件投资只需要两人年工作量就部署完成了复杂、可靠的系统，而如果使用ANSI C完成这些，我们估计需要一个团队10年或更多的时间。我们凭借LabVIEW和NI嵌入式硬件建立了一个强大的系统，以满足当今绿色能源的迫切需要。



图2. XP能量存储系统帮助整合可再生能源，其中包括 夏威夷风电场的能量



图3. XP能源系统的分布式架构具备可扩展性，通过增加更多的电池/逆变器单元可将规模扩展至多兆瓦/兆瓦时

服务解决方案

NI专业服务团队包括：NI应用与系统工程师和全球的NI联盟伙伴（National Instruments Alliance Partner）项目，该网络由600余名独立的顾问和集成商组成。从设计和规格到应用程序开发、项目管理以及第三方软件和硬件的集成，NI服务团队凭借对于产品和应用的深入了解，可以帮助您解决项目过程中的各种难题。

专项服务

NI的资深服务团队，包括NI工程师和遍布全球的National Instruments Alliance Partner，能够帮助您完成原型设计、可行性分析、应用咨询和系统集成等相关项目需求。

软件维护和支持

加入标准服务项目（SSP）后，您将自动获取软件的正版升级和更新，来自NI应用工程师的专业技术支持能够帮助您解决软件使用过程中的各种问题。

批量许可证

NI批量许可证能够有效降低软件总成本、帮助用户创建用户工作群、简化软件预算和购买，进而为用户获取最大的软件投资收益。

系统配置与部署

经过严格培训的NI技术人员能够帮助用户正确安装软件和硬件，并根据规格配置PXI、PXI/SCXI组合式、NI CompactRIO或NI Compact FieldPoint系统。用户更可选择工厂安装服务（FIS），直接获取调试完毕，即时可用的硬件系统。

校准服务

NI提供一系列校准解决方案，其中包括：产品的重新校准服务、服务提供商、手动式校准流程、专为计量实验室设计的自动校准软件。

保修和维修服务

延长保修服务，可满足用户贯穿项目生命周期全程的需求，并提供NI产品的维修、快速维修和高级替换服务。

培训与认证

NI专业培训帮助学员缩短了43%维护时间，节省了50%开发时间，加快了66%学习效率。多达数十门的专业培训课程可帮助用户快速上手，高效地开发功能强大且易于维护的应用程序；NI权威认证则能够进一步肯定用户的技术成长和使用NI软件的技能。



ni.com/embeddedsystems/energy · 免费咨询电话: 800 820 3622 · china.info@ni.com

NI上海 中国区总部

电话：(021) 5050 9800

传真：(021) 6555 6244

E-mail：china.info@ni.com

NI北京

电话：(010) 8262 5966

传真：(010) 8286 2099

NI广州

电话：(020) 2201 6899

传真：(020) 2201 6898

NI香港

电话：(852) 2645 3186

传真：(852) 2686 8505

E-mail：general@nihk.com.hk

NI代理 北京中科泛华测控技术有限公司

电话：(010) 8260 0055

传真：(010) 6262 8056

E-mail：mail@pansino.com.cn

CompactRIO分销商及增值服务商 上海聚星仪器有限公司

电话：(021) 6879 5660

传真：(021) 6879 5670

E-mail：info@vi-china.com.cn

网址：www.vi-china.com.cn