

基于 NI RIO 平台开发并网型储能系统控制器



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。

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

“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。”

– Richard Jennings, Xtreme Power

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

作者: Richard Jennings - Xtreme Power

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