

控制系统

倍福助力“智慧风能”发展

文 | 刘军，德国倍福

在“互联网+”已成为国家战略的背景下，如何运用互联网思维促进中国制造的质量提升，将成为制造业不可忽视的发展方向。有风电专家就此指出，融入大数据、云计算等新一代信息技术的风电机组的智能化将成风电行业的重要发展趋势，这也是风电行业在十三五期间的重要布局着力点。智慧能源战略，简而言之就是充分利用物联网、云计算、大数据、机器学习、人工智能、智能控制以及智能传感等技术，积极构建全球能源互联网大格局，提升能源产生、能源消费、能源交易等各个环节的效率，挑战和颠覆传统能源的管理和应用方式，推进数字能源革命。

智慧风能是智慧能源的重要组成部分，“智慧风能”已经成为众多风能企业布局的“首选策略”，着眼点在于提升风机运行质量，实现风电场和能源网的智能化集成。风电设备智能化与智慧风电场建设成为行业发展的最新热点。

“智能风机”在叶片和风机内外部加装了传感器和雷达，用雷达监测风的流动性、强弱，通过传感器收集各项数据，汇总到云端计算分析，智能控制技术、先进的测量技术、数据分析专家系统、主动性能控制和基于可靠性的决策算法等，使得发电效率提升。除了智能风机外，风电场的管理其实也有非常大的提升空间。整个风电全生命周期的能

源管理才是客户最需要的。通过将风资源评估、风场设计、风场运维、资产管理、风电场协同优化控制等全生命周期透明化、数字化、信息化，结合物联网、云计算、大数据等先进技术，可为客户真正构建“智慧风场全生命周期管理平台”。

智能风机对控制系统的需求

首先需要性能强大的 CPU 作为控制器系统的大脑。Beckhoff 目前推出了新型 CX2000 系列，这些功能强大的 CPU 是风力发电机组制造商们喜爱的导轨安装式嵌入式控制器。CX2000 系列采用的是 Intel Sandy Bridge 处理器。除此之外，还有经济型 Sandy Bridge Celeron®、Intel® Core™ i7 处理器可供用户选择。甚至配备了 1.5 GHz 处理器（双核）的 CX2030 系列采用的也是无风扇设计，因为没有旋转部件，因此运行也非常稳定。CX2040 拥有 2.1 GHz Intel®Core™ i7 处理器（4 核）。

然后是高确定性的 EtherCAT 现场总线系统及超采样模块。EtherCAT 作为一个高速、实时总线系统进一步完善了 Beckhoff 科技自动化解决方案。EtherCAT 不仅是成熟的控制现场总线，而且也是测量现场总线。只有这种基于以太网且具有高度确定性的高速现场总线协议才能实现诸如状态监测集成等复杂应用。EtherCAT 功能原理决定了其有用数据传输率远远超过 90% 的全双工高速以太网，且总线周期时间仅为几微秒。

结合倍福超采样技术将数值直接缓

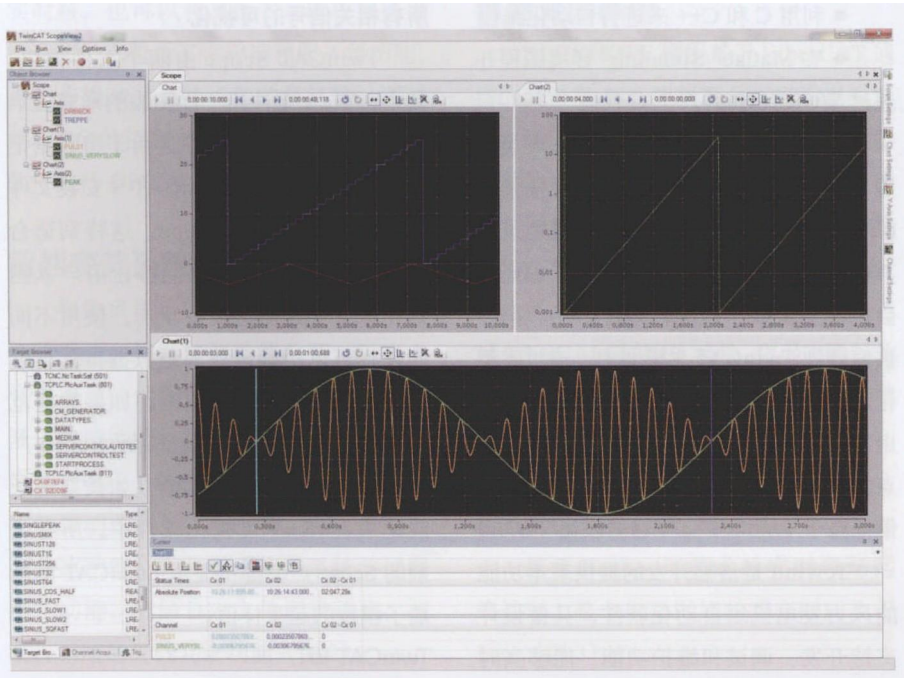


图 1 使用 TwinCAT Scope 显示对数信号分析

存在 EtherCAT 从站中，采样率可远远超过实际的总线周期：数字量输入端子模块 EL1262 能够以每秒高达 100 万采样点的速度扫描信号。EtherCAT 端子模块 EL3702 能够以 16 bit 的分辨率和高达 100 kHz 的频率采样 $\pm 10\text{ V}$ 模拟量信号。EtherCAT 从站中的分布式时钟能够确保整个网络中的数据采样在时间上保持同步。抖动被显著降低到小于 $1\text{ }\mu\text{s}$ ，甚至常常会小于 100 ns。

EL3632 是一种 EtherCAT 超采样端子模块。该端子模块适用于状态监测应用，在实际应用中，振动必须通过加速度传感器或麦克风进行采样。带 IEPE（压电集成电路）接口的压电传感器可直接连接到双通道端子模块上，无需前置放大器。基于不同等级的硬件滤波，可实现 $0.05\text{ Hz} \sim 50\text{ kHz}$ 的信号采样频率。

EL3773 是一款电力监测端子模块，使用超采样技术采样原始电网数据，采样高达 10 kHz，实时采集电网电压电流，通过 EtherCAT 分布时钟又可以满足采集的同步。实时监测各个节点相位、频率、幅值，对电网的波动做出快速调节。使用 TwinCAT 3 的功能库，还能对电网 40 次以内的谐波、THD 等进行分析。EL3773 是一款电力监测端子模块，用于采样原始电网数据，而不是原始振动数据。电流和电压采样高达 10 kHz，这使得端子模块适合与其他网络同步。

超采样模块宽度仅为 12 mm 的模块的主要优点在于其具有高度灵活性。EtherCAT 总线系统提供了几乎无限的可扩展性能。这意味着实际的测量应用程序（如齿轮箱监测）可以在新系统中实施或在现有系统中进行升级改造。由于控制器的结构非常紧凑，且 TwinCAT 软件接口具有良好的开放性，独立系统将成为主流。该类独立系统目前已在一些陆上风力发电机组中得到应用，用于在 CX5020 嵌入式控制器的基础上监测主轴承和齿轮箱。为此，使用 5 个 EL3632 超采样端子模块和一个 EL3413 电力测量端子模块配备了一个终端控制柜。UMTS

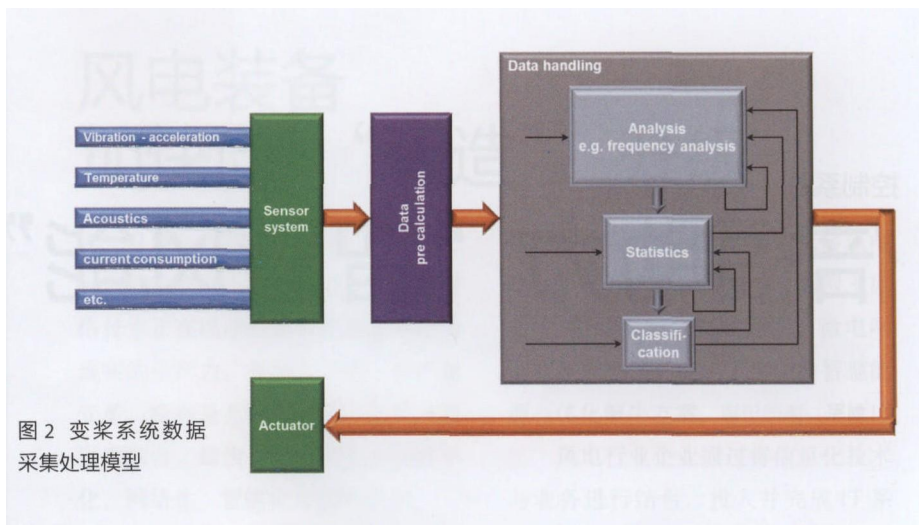


图 2 变桨系统数据采集处理模型

调制解调器和紧凑型加热器可以作为附加选项集成。视可用的接口而定，状态监测系统也可集成到现有的控制器中。

智能软件

TwinCAT 3

基于 Microsoft Visual Studio 的 TwinCAT 3 开发应用程序，为实现智能化的软件控制技术提供了有力保证。eXtended Automation Engineering (XAE) 把所有的开发工具集成在 VS 2010/2012 这个框架中，TwinCAT 3 实时核能够实现多任务多处理器的运行。

- TwinCAT 3 PLC-IEC61131-3 增加面向对象编程

- 利用 C 和 C++ 来进行自动化编程
- 在 Matlab®/Simulink® 环境编程并通过 WORKSHOP 产生 C 代码

在为 TwinCAT 3 Run-Time 环境创建 Matlab®/Simulink® 模型时，无需使用 Beckhoff 的特殊组件或对原始模型进行其他修改。Matlab® 及 Simulink® 编译器会自动生成 C++ 代码，然后 C++ 代码会被编译到 TwinCAT 3 模型中。通过实例化，用户可以轻松地重新使用模块。例如，用户可以在 TwinCAT 中直接看到设置断点的 Simulink® 框图。

倍福基于 TwinCAT 3 平台开发出 Tcwind

Tcwind 是倍福开发的提供基本功能的风力发电机组自动化软件，具备设计支持开发、调试和维护功能。能够实时处理和捕捉所有重要数据，每个组件独

立或与其他组件组合工作。能够灵活的配置、诊断、监控，在线监测，组态和交互适用于每一个应用程序。实现历史诊断的连续记录和评估及保存，实现数据上传和下载。

TwinCAT 3 状态监测软件库

最新的 TwinCAT 3 状态监测软件库提高了这些选项的利用率。通过快速任务记录原始数据，然后通过慢速任务进行进一步处理。这样可持续记录需测量的数据，然后通过诸如功率谱、峰态、波峰因数及包络谱等算法进行分析。用户无须担心任务间的通信，因为状态监测库会自动对其进行处理。

TwinCAT Scope 实现了科技自动化软件所有相关信号的可视化

TwinCAT Scope 由两个组件构成，其中，View 组件用于以图表的形式显示信号（图 1），Server 组件用于将数据记录在目标设备中。TwinCAT 3 安装文件通常包括基本版的 Scope。这特别适合用于系统调试。Scope 能够让用户以图形化方式快速概览设备状态。使用不同的光标可以精确读取测量数据，其精度甚至可以达到微秒级范围。如果数值范围较大，可切换至对数显示。Scope 产品实现了许多额外的功能，如长期记录或集成在 .NET 可视化软件中。所有级别的 Scope 产品都可显示 EtherCAT 测量端子模块的超采样值。

TwinCAT IoT

TwinCAT 3 还可以为快速、有效的

实时物联网和工业 4.0 概念的实现提供完整的解决方案。TwinCAT IoT 支持标准的云通信协议，可以发送推送信息到智能终端。作为传统控制任务的扩展，通过诸如大数据存储、模式识别、或者状态及功率监控等功能有效地提升了我们产品的竞争力。TwinCAT 3 IoT 可以很简单地进行配置。它和嵌入式 PC 或者 IPC 一起可以作为一个物联网的控制器，为物联网和以太网服务器提供无缝的连接。升级的软件平台为用户提供了广泛的功能用来实现过程数据的交换，例如标准的通信协议、访问云服务器提供的特殊数据和云服务器。常见的公共云系统有微软的 Microsoft Azure™ 或者亚马逊的 Web Services™。当然这些服务也可以部署在本地网络上。

TwinCAT OPC UA

OPC Unified Architecture (UA) 是下一代经典的 OPC 标准，它描述了全球标准的通信协议，允许基于不同平台的设备之间传输数据实现通信。OPC UA 符合工业 4.0 和物联网的需求，这正是它成为工业 4.0 官方通信协议的原因。

OPC UA 一个最主要的特点是在通信堆栈中标准集成了安全机制。TwinCAT OPC UA 运行访问 TwinCAT 的实时核，也可以和其他 UA 设备直接进行通信，它包含了客户端和服务端功能，进一步提高了系统通信的灵活性。通过基于 PC 的控制技术，TwinCAT 自动化软件支持 OPC 通信（服务器和客户端）。

智能变桨系统

智能风机最重要的组成部分应该是变桨系统，智能变桨系统包括：超级电容或电池的性能检测功能、变桨驱动器及电机的性能检测、各部件的温度、供电系统电压、电流检测、滑环性能检测、轮毂振动监测、叶片振动、应变检测以及除冰功能，并且实现变桨系统的远程维护功能，故障日志文件记录读取，与主控系统的无线冗余功能（图 2）。

叶片是风电机组的主要部件，其结

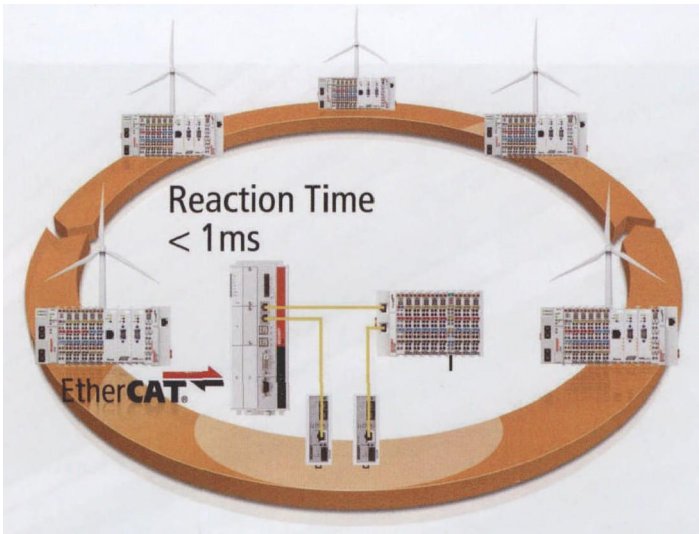


图 3 基于 Beckhoff 技术的实时风场网络控制，整个风场网络的响应时间小于 1ms

构强度直接影响到风电机组的工作效率和运行可靠性。风电机组叶片的工作环境除了承受变化的空气动力外，还受到本身惯性力以及机舱带来的负荷，很容易发生振动。风电机组的叶片上安装振动加速度传感器。由于风速变化而引起叶片在轴向方向上产生振动，该振动加速度传感器能够对叶片振动的加速度数值进行采集测量，反应叶片振动的运动性质。

在智能变桨系统控制器中，实时采集各振动数据，在程序中加入对振动数据的实时采集实时滤波计算 FFT 处理，可以高效的配合主控实现最佳叶尖速比的获取，最大性能的提升风机利用率。

智能变流系统

BECKHOFF 推出基于 EtherCAT 通信的变流器 IPC 控制平台，当然也推广到中高压变频器；EtherCAT 满足变流器内部快速实时通信的要求，可以实现循环时间在 50 μs；EtherCAT 具有实时、同步、可靠特点；变流器内部 EtherCAT 线路冗余。采用与主控系统统一主站通过 EtherCAT 连接 IO 模块，以及 PIB（功率接口板）IGBT 控制板可以高效的实现变流器的实时控制。

智能化的风场网络

基于 Beckhoff 技术的实时风场网络控制，整个风场网络的响应时间小于 1 ms（图 3）。

1. 电网波动的快速响应

电网波动的快速采集，低电压穿越和高电压穿越的命令快速下发。

2. 整个风场网络有功功率的控制

通过优化算法计算得到每一台风机的有功功率数值，整个网络作为一个整体控制。

3. 整个风场网络无功功率的控制（电压控制）

通过优化算法计算得到每一台风机的无功功率（无功电流）数值，整个网络作为一个整体控制。协调整个风场网络的无功功率，确保并网点的电压恒定。

4. 频率控制

确保并网点的频率恒定。

Beckhoff 科技自动化技术将高性能工业 PC 或嵌入式控制器、高确定性的 EtherCAT 现场总线系统和智能软件完美整合于一体，为将来智慧风能作出应有的贡献。智慧风机的单机运行数据收集、积累、计算，总结各种型号风机的共性缺陷和风资源利用率，为现有风机的技术创新、工程项目后评价工作及未来新建场站风机选型提供强有力的数据支持，确保投资效益最大化。智慧风机通过功率曲线拟合、功率曲线对比、单机横向对比、单机纵向对比、单机监视及报警关联部件、单机性能分析、曲线偏差率排行榜、风机切入切出风速对比、单机绩效榜等功能的实现，基本完成了对风场电站运行指导、运行建议的全覆盖，实现最大程度提高发电量的目的，并寻找到利润增长点。[MM]