

## Application Brief

# 依托先进工业通信技术，实现 AI 驱动型监控和故障预防



### 简介

人工智能 (AI) 正在彻底改变行业的运营方式，使行业从传统的被动式维护转向主动、数据驱动的决策模式。AI 技术使系统能够从大量操作数据中学习、识别人类操作员难以察觉的运行规律并以极高精度预测未来运行状态。这一变革在各类工业场景中尤为显著，从自动驾驶车辆、智能制造，到电网优化与供应链管理。

AI 在工业领域最具影响力的应用之一便是预测性维护，这已成为各行业制造工厂的核心重点，包括石油天然气、工厂自动化、机器人技术及能源基础设施等领域。在所有由电机和齿轮箱驱动生产的场景中，AI 增强型持续健康监测对于避免意外故障停机至关重要。非计划停产会造成生产力与收益的巨大损失。

传统维护策略通常是在电机、齿轮箱等设备因长期磨损出现严重故障后才进行维修。而 AI 算法能够提前捕捉故障发生前的早期预警信号，包括电流、温度、振动模式等人类操作员易忽略的细微变化。除避免生产中断外，通过 AI 预测大型电机或涡轮机故障，还可防止机械爆裂等对人员构成严重安全威胁事故的发生。

借助 AI 对电流、电压、温度、振动等关键参数的监测，可在整个工厂范围内实现高精度的模式识别与故障预测。将机器学习算法直接融入工业自动化金字塔架构，工厂操作人员能够以前所未有的精度提前获取设备潜在问题预警。这使得维护工作可在非生产时段最优规划执行，避免高昂的非计划停机，同时最大限度延长设备使用寿命。

### 工业通信与 AI 驱动的监测及故障预防演示系统

该演示系统直观展示了 AI 如何与传统自动化金字塔架构无缝融合。在基础层面，该系统集成智能传感器与执行器，部分传感器搭载集成式 AI 加速器与算法，减少数据传输量，并支持边缘侧直接故障检测。工业通信协议作为智能骨干网络，将具备 AI 功能的传感器与网关、PLC、云基础设施互联互通，构建完整的预测性维护生态系统。

该演示平台包含以下部分。

- 基于边缘处理板 (TIDA-010261)、IEPE 前端 (TIDA-010249) 和边缘网关板 (TIDA-010262) 的振动检测演示
- 工业以太网
  - 100Mbit 工业以太网模块上系统解决方案 (TICS100MOD)

- 100Mbit 工业以太网参考设计 (TIDA-010973)
- IO-Link
  - 工业以太网转 8 端口 IO-Link 主网关 (TIDA-011002)
  - IO-Link 器件传感器/执行器 (TIDA-010263)
- 基于 AM13E230x 板的振动与不平衡检测

### 使用边缘计算传感器板和支持 AI 的网关进行振动传感，以实现预测性维护

预测性维护标志着行业从传统的故障后维修模式向智能化、数据驱动的资产管理模式发生根本性转变。通过持续监测设备健康状态，企业可避免意外停机，将维护成本降低最高 30%，并显著延长设备使用寿命。这种主动式维护方式不仅可消除高昂的紧急维修成本，还能优化维护计划、减少备件库存，更重要的是可避免危及人员安全的事故发生。在制造业场景中，单条生产线每小时停机损失可达数千美元，因此预测性维护已成为保持企业竞争力与运营效率的关键。

该振动检测子系统通过一套集成化架构体现了预测性维护理念，该架构由三款相互联动的参考设计组成：

- **TIDA-010262**：用于数据汇聚与云端连接的网关参考设计
- **TIDA-010261**：用于实时振动分析的边缘处理参考设计
- **TIDA-010249**：专为 IEPE 振动传感器设计的模拟前端

**网关板 (TIDA-010262)** 作为核心中枢，搭载 AM6442 处理器并运行 Linux 系统，可同时管理多路数据流。该器件支持四路独立的 T1L PHY，可连接传感器，并配备 1Gbit 以太网端口，实现与云端的无缝集成。该设计集成了带 SCCP 协商功能的数据线供电设备 (PoDL PSE)，可简化安装并降低布线复杂度。

**传感器板 (TIDA-010261)** 部署在边缘侧，采用专为实时信号处理优化的 AM2432 处理器。其支持带 SCCP 协商功能的 PoDL 供电器件 (PD)，可实现智能电源管理。集成式的 TIDA-010249 模拟前端可同时连接最多四路 IEPE (集成电子压电) 传感器，并通过高性能接口 (HPI) 与 AM243x 处理器相连，实现数据实时处理。

**通信基础设施** 采用 T1L (10BASE-T1L) 单对以太网技术，可通过单对双绞线实现最远 2 公里的可靠数据传输。

输。数据线供电 (PoDL) 技术可同时传输电源与数据，大幅简化工业现场安装，同时保证通信可靠稳定。

## 智能系统操作

系统通过一套专为预测性维护优化的智能数据流程运行：

1. 数据采集：IEPE 振动传感器持续捕获旋转机械的机械振动信号
2. 信号调节：模拟前端的高精度 ADC 以极高保真度将模拟振动信号转换为数字格式
3. 边缘处理：传感器电路板执行实时 FFT (快速傅里叶变换) 计算，将振动数据从时域转换到频域以便进行高级分析
4. 模式识别：频域分析可揭示有关轴承磨损、不平衡、错位和其他机械故障特征的关键信息
5. 数据传输：经处理的振动频谱通过 T1L SPE 传输到网关板，从而进行全面分析和数据融合
6. AI 增强型分析：该网关执行复杂的 AI 算法，将振动数据与电机电流特征、电压变化和温度趋势等互补参数相关联
7. 云集成：处理结果与预测性分析数据可实时上传至企业云平台，用于长期趋势分析、维护计划制定及整厂设备群优化

## 100Mbit 工业通信参考设计

[TIDA-010973](#) 参考设计为在设计中集成 100Mbit 工业以太网提供了完整解决方案。该平台支持多协议工业以太网，包括 EtherCAT、Profinet 和 Ethernet/IP 协议。

主要元件：

- [AM2612](#) 500MHz 双核基于 Arm® Cortex®-R5F 的 MCU，具备实时控制功能
- [DP83826AI](#) 以太网 PHY
- [TPS65214](#) PMIC
- [LMK3C0105](#) BAW 振荡器和 4 输出时钟缓冲器

LMK3C0105 可将微控制器与以太网 PHY 同步，这对于利用动态数据包处理的工业以太网协议 (例如 EtherCAT) 至关重要。MCU 和 PHY 之间共享时钟源可防止 TX 缓冲器溢出或欠载情况。

该参考设计包括完整的设计文件：原理图、BOM、Gerber 文件和 Altium 设计文件。AM261x EVM 的工业 SDK 和 MCU SDK 均与 TIDA-010973 兼容。本设计指南详细介绍了 TIDA-010973 和标准 TI EVM 之间的增强和修改内容。

## 模块上的 100Mbit 工业通信系统 (TICS100MOD)

这是一款基于德州仪器 (TI) AM2612 MCU 与 TI PHY 打造的紧凑型、可量产工业以太网通信模块，旨在单一

硬件平台上支持多款经过认证的实时以太网协议。该模块可帮助设备制造商更简单、更经济地集成工业以太网通信，无需重新设计底板。

## 具有成本效益的 IO-Link 网关参考设计

IO-Link 网关参考设计 (TIDA-011002) 展示了一款成本优化型 IO-Link 主站评估板，可作为多协议工业网关，实现各类工业以太网协议与 IO-Link 器件之间的协议转换。

**演示设置：**该板可在工业自动化场景中用作智能网关，无缝弥合高级工业网络 (EtherCAT, Profinet, Ethernet/IP) 与现场级 IO-Link 传感器和执行器之间的差距。

主要演示特性：

1. 多协议工业以太网连接
  - 在 EtherCAT、Profinet 和 Ethernet/IP 协议之间实时切换
  - 10/100Mbit 网络性能演示
  - 与工业控制器进行实时数据交换
2. 8 端口 IO-Link 主站功能
  - 最多可连接八个 IO-Link 器件 (传感器、执行器、智能器件)
  - 演示单端口 1A 供电能力
  - 400µs 周期时间的 COM3 通信
  - 基于 PRU 帧处理器，实现低 CPU 负载运行

## AM64x/AM62 AI 开发工具

AM64、AM62、AM62P 和 AM62L 等 TI 微处理器支持行业标准 AI 运行时 [ONNX Runtime](#) 和 [Tensorflow-lite \(LiteRT\)](#) 的软件。在服务器或 PC 上使用 [PyTorch](#) 和 [Tensorflow](#) 等工具训练的 AI 模型导出为 .ONNX 和 .TFLITE 格式，用于在嵌入式微处理器上运行推理。

基于时序数据运行的神经网络能够解决工业自动化与网络通信中的诸多问题，尤其适用于网络集线器或传感器聚合设备。异常检测和分类模型通过分析电机转速、振动模式、音频和电气特性来预测维护需求。为单个数据包、链路、器件利用率及协议相关指标所捕获的网络特性时变规律进行预测，可优化网络性能与服务质量。

面向上述处理器的 Linux SDK 支持开发者在 Arm Cortex™ A53 内核上运行 AI 模型。对于大多数基于时序数据的 AI 预防性维护应用，该级别 CPU 内核已足够使用，无需硬件加速 (即 NPU)。 [XNNPACK](#) 和 [ARMNN](#) 的标准实现方案足以满足时延要求。通过这种方式，开发者可使用行业标准工具为这些器件构建 AI 模型，完全不依赖目标专用或定制化工具链。在某些情况下，例如大数据流量、多通道数据、极低时延要求或模型复杂度极高时，则可能需要 NPU。TI 正持续在该

领域投入研发，以加速更具挑战性的边缘 AI 应用落地。

### AM13E230x 电机不平衡检测演示

此演示展示了 AM13E230x 器件如何在风扇应用中提供不平衡和故障检测。这款高性能器件依托 AI 加速能力及面向家庭自动化场景设计的直观软件生态，提升性能、降低功耗，并全面延长所用电机的使用寿命。

AM13E230x 利用其 200MHz 性能功能以及 TinyEngine™ NPU 可同时运行电机控制与 AI 软件方案。在智能家居自动化中，电机寿命与故障检测是关键工程考量，也是 AM13E230x 的重要设计要点。

演示场景：两套风扇分别接入 AM13E230x 硬件生态系统 ( LaunchPad EVM 与栅极驱动板 )。其中一个风扇的叶片上加装螺钉。AM13E230x 检测由于叶片上的螺钉造成的不平衡。另一个风扇显示风扇正常运行。这演示了如何在风扇电机中使用 EdgeAI 设计来检测风扇不平衡并防止损坏整个电机来提高性能。

主要特性：

- 高性能：200MHz Arm® Cortex®-M33 处理器
- AI 加速：TinyEngine™ NPU
- 检测功能：通过边缘 AI 算法进行振动、故障和不平衡检测
- 软件生态系统：具有 Zero、EdgeStudio 和软件库的电机控制 GUI 可通过安全资源代码接口访问

演示组件：

- AM13E230x LaunchPad 开发板
- 概述了 EdgeAI、电机控制 GUI 和 InstaSPIN 的应用手册
- 带测试螺钉的 PMSM/BLDC 低压风扇

### 商标

所有商标均为其各自所有者所有。

## 重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月