

Application Brief

利用集成电源与数字隔离设计提升设计性能



Himalaya Pramanick

摘要

在为隔离栅实现基于变压器的传统 DC-DC 转换时，工业自动化、电机驱动器和通信接口中的现代隔离系统面临着巨大的设计挑战。传统方法需要复杂的元件选型、极具挑战性的 PCB 布局、繁琐的安全认证以及精心的 EMI 管理，导致成本增加、布板空间扩大和开发周期延长。工程师必须熟悉多个分立式元件（包括隔离变压器、驱动器电路、整流级和反馈网络），才能实现成功的设计。

德州仪器 (TI) 的 ISOW64xx 系列通过革命性的集成方案解决了这些挑战，将隔离式 DC-DC 转换与数字隔离结合在单一封装中，经优化后以极具竞争力的成本实现卓越的 EMC 性能。该集成架构省去了外部变压器及辅助电路，元件数量最多可减少 70%，同时提供 140mA 输出电流（在 5V 输入、3.3V 输出模式下），可为精密 ADC 和通信接口供电。

本文档介绍了集成隔离设计具有显著优势的三个关键应用领域：

- 需要重新对 ADC 电源和数据隔离进行高规格设计的 PLC 模拟输入模块。
- 使用 RS485/PROFIBUS 和 CAN 协议的远距离工业通信系统。
- 处理各种信号类型的传感器前端接口。

该集成方案在简化设计、加快产品上市速度、降低系统成本以及实现超越竞品设计的行业领先 EMC 性能方面，均带来了显著提升。对于开发隔离系统的工程师而言，这些集成设计方案代表了从复杂分立式设计向优化的高性价比架构的范式转变，在加快产品开发的同时，还能确保在严苛工业环境中具备稳健性能。

简介

每个隔离的器件都需要一个隔离 DC-DC 转换器为悬空接地侧的电路供电。在工业自动化、电机驱动器和通信接口等应用中，这种隔离对于安全性、抗噪性和消除接地环路至关重要。传统设计使用变压器产生隔离的直流电源，需要额外的变压器驱动器、整流电路、反馈网络和控制逻辑。变压器通常在 100kHz 至 1MHz 的开关频率下工作，需要精心进行磁性设计，以实现合适的匝数比、最小化漏感，并维持高达 5kVRMS 甚至更高的隔离电压等级。这些设计还需要采用光耦合器或磁耦合的精密反馈电路，以在负载和电源变化时保持输出电压的稳定。这些要求叠加在一起，带来了诸多设计挑战，增加了工程师开发隔离系统的复杂性、成本和上市准备时间。

为何传统隔离 DC-DC 设计如此复杂

• 多元件选型：

传统隔离电源需要大量分立式元件：

- 具有特定匝数比的隔离变压器。
- 变压器驱动器 IC。
- 整流二极管和滤波电容器。
- 采用光耦合器的反馈电路。
- 保护与控制电路。

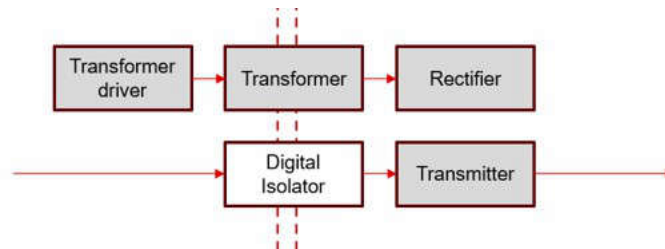


图 1. 分立式设计所需的元件

• 棘手的 PCB 布局：

隔离的转换器会造成布局困难：

- 高频率开关产生噪声，需谨慎布线。
- 隔离栅需要在初级侧和次级侧之间留出特定间距。
- 对于多个功率元件，热管理变得至关重要。
- EMI 控制需要额外的滤波和屏蔽措施。

有关布局指导，请参阅 [ISOW6441DWEEVM](#)、[ISOW3080DWEEVM](#)、[ISOW1050DWEEVM](#)。

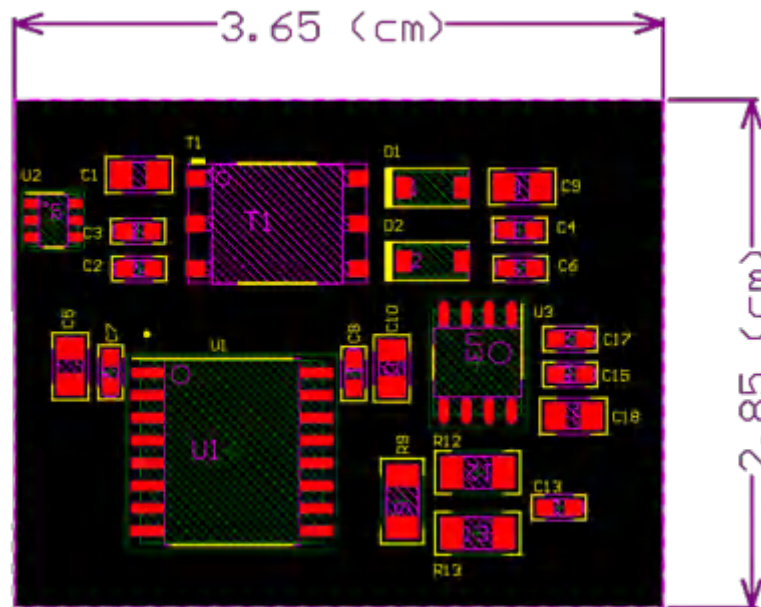


图 2. 分立式实现方案的复杂布局

- **安全认证复杂性：**

外部隔离变压器加重认证负担：

- 变压器需要单独的安全机构认可。
- 需要额外的高压测试。
- 更多的文档和合规测试。
- 认证时间线更长。

- **更高的系统成本和更大的布板空间：**

传统方案推高了总体成本：

- 元件越多，BOM 成本越高。
- 变压器及辅助电路需要更大的 PCB 面积。
- 额外的组装和测试时间。
- 更高的库存管理复杂性。

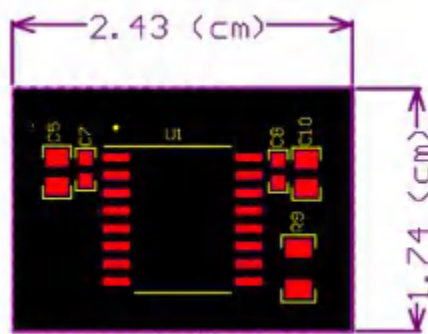


图 3. 简单的布局实现方案 (面积减少 60%)

- **EMI 和性能问题：**

开关变压器带来电磁挑战：

- 变压器振铃产生高频噪声。
- 绕组之间的寄生电容产生共模电流。
- 漏感影响效率与调节。
- 需外加滤波电路才符合 EMC 要求。

有关 CISPR 32 发射数据，请参阅[辐射发射应用手册](#)。

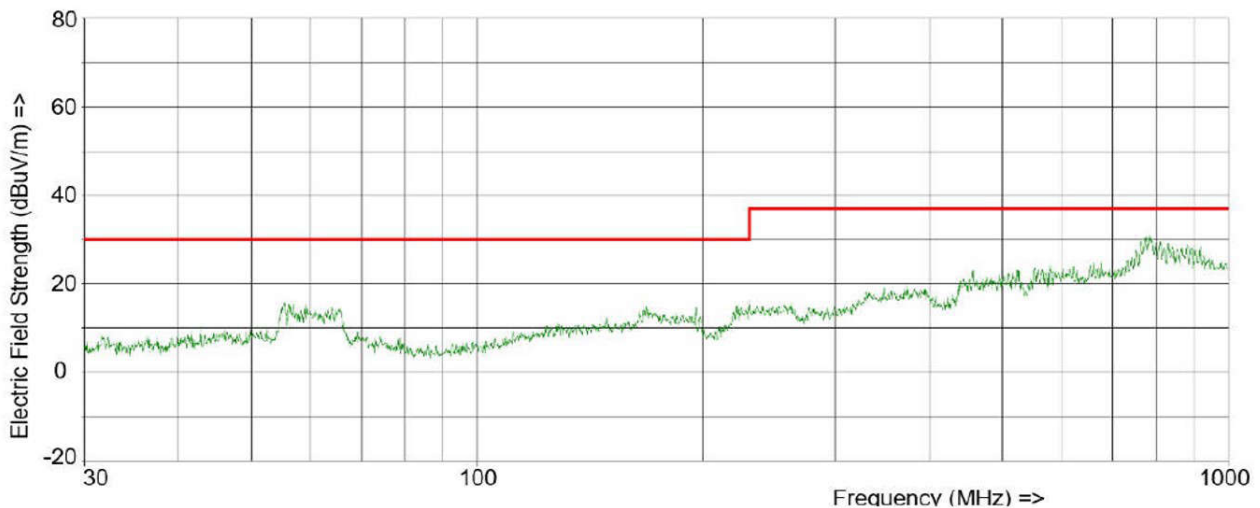


图 4. 使用 ISOW 器件实现出色 EMI 性能

TI 的集成设计：ISOW64xx 系列通过在单一封装中集成 DC-DC 转换器和数字隔离器而解决了这些问题，专门设计用于以最具成本效益的方式提供出色 EMC 性能。与竞品设计不同，这些器件采用优化的内部开关拓扑和先进 EMI 缓解技术，消除了外部变压器常见的噪声问题。该集成设计提供了其他竞品设计无法匹敌的卓越电磁兼容性，同时保持了量产的成本效益。

ISOW3080 在一个器件中融合了隔离 DC-DC 电源、数字隔离和 RS485 收发器功能，进一步提高了集成度，从而为 RS485 应用带来卓越的 EMC 性能。类似地，ISOW1050 集成了 CAN 收发器功能以及电源和数字隔离，为 CAN 接口设计带来业界领先的 EMC 性能。

主要优势

- **简化设计**：无需设计外部变压器，仅连接电源和信号即可。
- **减少元件**：器件数量比分立式设计减少达 70%。
- **提升性能**：经过优化的内部设计实现更高的效率和更低的 EMI。
- **加快上市速度**：经过预认证的隔离功能缩短设计和测试时间。
- **降低成本**：集成设计降低了系统总成本。

应用

• PLC 模拟输入模块：

在可编程逻辑控制器 (PLC) 模拟输入系统中，经调理的模拟信号必须经过数字化处理并安全地跨越隔离栅传输，以保护控制系统免受接地环路和电气故障的影响。典型架构包括：

- **模数转换**：高分辨率 ADC (通常为 16-24 位) 将经过调理的模拟信号转换为数字格式。主流选择包括 Δ - Σ ADC (例如 ADS131M 系列)，或用于更快转换的逐次逼近型 ADC。这些 ADC 需要具有低噪声特性的稳定电源来保持转换精度。
- **隔离式数字通信**：数字隔离器跨越隔离栅传输转换后的数据，同时保持高达 5kVRMS 的电气隔离等级，满足工业安全要求。
- **隔离式电源要求**：ADC 和数字隔离器的隔离侧需要干净的稳压电源。传统设计需采用单独的隔离 DC-DC 转换器，增加了复杂性和成本。
- **ISOW64xx 设计**：ISOW64xx 在 5V 输入至 3.3V 输出配置中提供 140mA 最小输出电流，足以为精密 ADC (典型值为 10-50mA) 和数字隔离器电路 (10-20mA) 供电。这种集成方案省去了外部 DC-DC 转换器设计，最多减少 60% 的 PCB 面积，并简化了电源时序与调节。

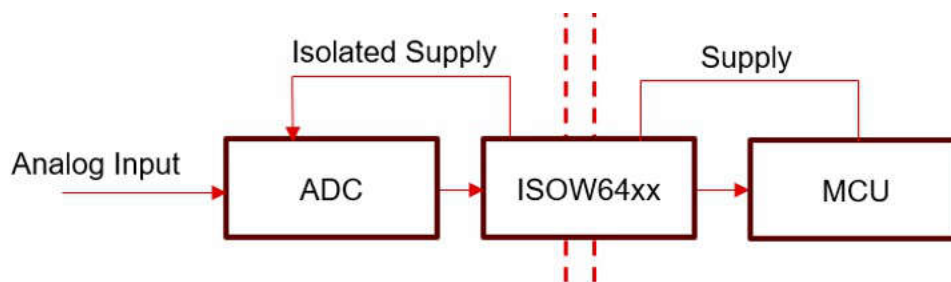


图 5. 在模拟输入模块中使用 ISOW

- **隔离式远距离工业通信：**

工业环境需要在长达 1,200 米的距离进行可靠通信，并要求具备高抗噪性和多点通信功能。有两种主要协议可以满足这些要求：

- **RS485 通信网络：**半双工差分信号传输，每个网段支持多达 32 个节点，针对不同应用优化数据速率。RS485 广泛用于一般工业自动化，500kbps 的标准数据速率即可实现可靠的远距离通信；对于距离较短的高速应用，可采用 1Mbps。PROFIBUS-DP (去中心化外设) 使用 RS485 物理层，但具有特定的时序和协议要求，支持用于工厂自动化的确定性通信。在标准安装中，PROFIBUS 通常以 500kbps 的速率运行，而在高性能应用中则以 1Mbps 的速率运行。
- **CAN 总线网络：**控制器局域网协议为实时控制应用提供确定性、高防错能力的通信。CAN 支持最高 1Mbps 的数据速率，具备自动仲裁和错误检测/纠正功能。工业 CAN 实现方案需要隔离式收发器，以防止节点之间形成接地环路。
- **传统设计挑战：**分别选择隔离栅、DC-DC 转换器和通信收发器，导致元件匹配问题，增加 BOM 复杂性，且需要精心进行 EMC 设计以满足工业发射和抗扰度标准。
- **ISOW3080 集成 RS485 设计：**TI 提供了四种经过优化的型号，以满足特定应用要求：
 - **ISOW3080：**适用于标准工业自动化应用的 500kbps RS485 收发器。
 - **ISOW3086：**满足高速通信要求的 1Mbps RS485 收发器。
 - **ISOW3080P：**满足 PROFIBUS-DP 时序规范的 500kbps PROFIBUS 优化型收发器。
 - **ISOW3086P：**适用于高性能 PROFIBUS 网络的 1Mbps PROFIBUS 优化型收发器。

所有型号均在单一封装中融合了隔离电源、数字隔离和针对协议优化的收发器，省去了外部收发器 IC 和相关保护电路，同时带来卓越 EMC 性能。

- **ISOW1050 集成 CAN 设计：**TI 提供了两种 CAN 接口选项，以满足不同系统电源要求：
 - **ISOW1050：**由单电源供电的 CAN 收发器
 - **ISOW1050V：**由双电源灵活供电的 CAN 收发器

两种型号均在单一封装中集成了隔离电源、数字隔离和符合 ISO 11898-2 物理层规范的 CAN 收发器。

- **替代协议支持：**对于 RS485 和 CAN 以外的协议 (如 PROFINET、EtherCAT 或定制 UART)，ISOW64xx 提供了隔离电源和数字隔离基础，使设计人员能够添加适当的通信收发器，同时保持集成电源优势。

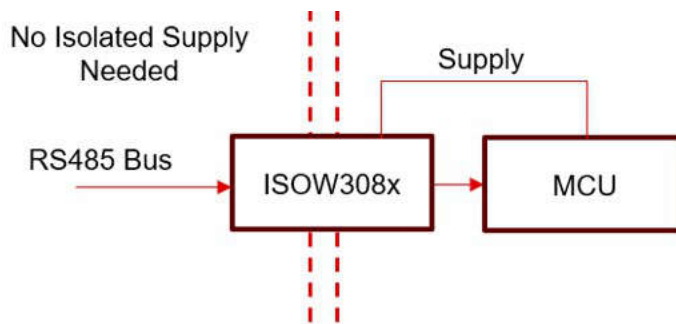


图 6. 隔离式远距离工业通信

• 传感器前端接口模块：

工业传感器接口要求具备精确的信号调理功能、出于安全考虑和防噪性能的隔离功能，以及在恶劣电磁环境中可靠的电力传输能力：

- **传感器信号类型**：工业传感器产生多种格式的信号：用于远距离防噪性能的 4-20mA 电流环路、来自压力/温度传感器的 0-10V 电压信号、需要微伏级放大和冷端补偿的热电偶，以及需要精密激励电流以精确测温的 RTD。
- **传感器电源要求**：不同传感器的电源需求各异：
 - 温度传感器（热电偶、RTD）：1-10mA 激励电流。
 - 压力/应变计传感器：5-20mA 电桥激励。
 - 接近传感器：10-50mA，具体取决于传感技术。
 - 带数字输出的智能传感器：20-100mA，包括通信电路。
- **信号调理电路**：精密仪表放大器、可编程增益放大器、热电偶冷端补偿以及线性化电路，均需要低噪声、良好调节性能的稳定电源。
- **ISOW64xx 传感器接口设计**：140mA 最小输出电流能力可应对多种传感器类型和相关的信号调理电路。集成方案提供了：
 - 适用于敏感模拟电路的清洁、稳压电源
 - 适用于传感器数据传输的数字隔离
 - 更少的元件数量和简化的 PCB 布局
 - 符合国际安全标准的预认证隔离
 - 适用于工业噪声环境的卓越 EMC 性能

这种集成设计可加快传感器接口开发，同时确保在严苛工业应用中具备稳健性能。

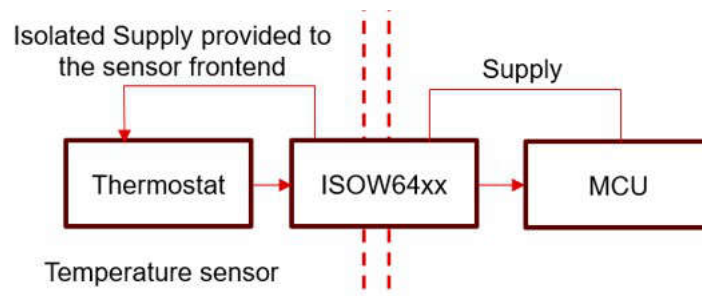


图 7. 传感器前端接口模块

结语

对于设计隔离系统的工程师而言，选择已经非常明确：采用外部变压器的传统分立式 DC-DC 转换器设计会增加复杂性、成本和 EMI 挑战，而 TI 的集成 ISOW64xx 系列则以极低的系统成本提供了业界卓越的 EMC 性能。凭借最多减少 70% 的元件数量、竞品无法匹敌的卓越电磁兼容性，以及在严苛工业应用中得到验证的可靠性，ISOW 设计为 PLC 模块、通信接口和传感器系统提供了绝佳的发展路线。

参考资料

- 德州仪器 (TI), [ISOW644x 带集成式 DC-DC 转换器、EMC 性能优异的增强型四通道数字隔离器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [ISOW308x 带集成式 DC-DC 转换器、EMC 性能优异的隔离式 RS-485/RS-422 收发器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [ISOW1050 带集成式 DC-DC 转换器、EMC 性能优异的隔离式 CAN FD 收发器](#), 数据表。
- 德州仪器 (TI), [用于指导布局的 ISOW644x EVM 数据表](#), 评估模块。
- 德州仪器 (TI), [用于指导布局的 ISOW308x EVM 数据表](#), 评估模块。
- 德州仪器 (TI), [用于指导布局的 ISOW1050 EVM 数据表](#), 评估模块。
- 德州仪器 (TI), [使用 ISOW6441 轻松达到 CISPR 32 B 类辐射发射标准](#), 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [使用 ISOW6441 轻松达到 CISPR 25 5 类汽车辐射发射标准](#), 应用手册。

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