

设计适合工业、电信和医疗应用的鲁棒隔离式 I²C/PMBus 数据接口

作者: Maurice O'Brien

简介

工业和仪器仪表(I&I)、电信以及医疗应用的一个关键要求是需要一个可靠接口来传输数据。I²C 总线是一种双线制双向总线,用于集成电路之间的低速、短距离通信。I²C 是由飞利浦公司于 20 世纪 80 年代早期为单个电路板上的 IC 开发,其应用依然在不断增长。电源管理总线(PMBus)是一种速度相对较慢的双线式通信协议,该协议基于 I²C,可针对电源进行数字管理。PMBus 协议定义了一种开放标准数字电源管理协议,能为电源转换器或连接的其他器件通信提供便利。

图 1 显示隔离栅在 I²C 接口和与该接口相连的每个系统之间提供电流隔离,既允许在两点之间传输数字数据,又可防止接地电流流过;这样可以消除耦合到通信总线上的噪声,从而降低信号失真和误差。

电信应用中使用的 PCB 通常集成数字控制电源转换器以及工作在不同地电位的电路。为确保实现无差错的卡片插入/移除操作以及鲁棒的工作性能,必须隔离每一个接口;但 I²C 接口隔离很复杂,因为总线是双向的。光耦合器就不满足这样的要求,因为它是单向的。图 2 显示 PMBus 通信链路,该链路可将原边上的 ADM1075 (-48 V 热插拔)以及数字电源监控器与副边相隔离,它采用 12 V 和 3.3 V 电源供电。ADM3260 双通道 I²C 隔离器集成 DC-DC 转换器,可隔离 SDA 和 SCL 信号。其隔离电源(3.3V_ISO)为 ADuM3200 双通道数字隔离器供电,后者可用来隔离 SHDN 和 RESTART 信号。

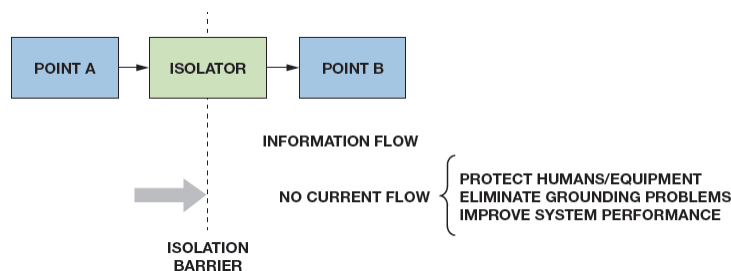


图 1. 隔离功能

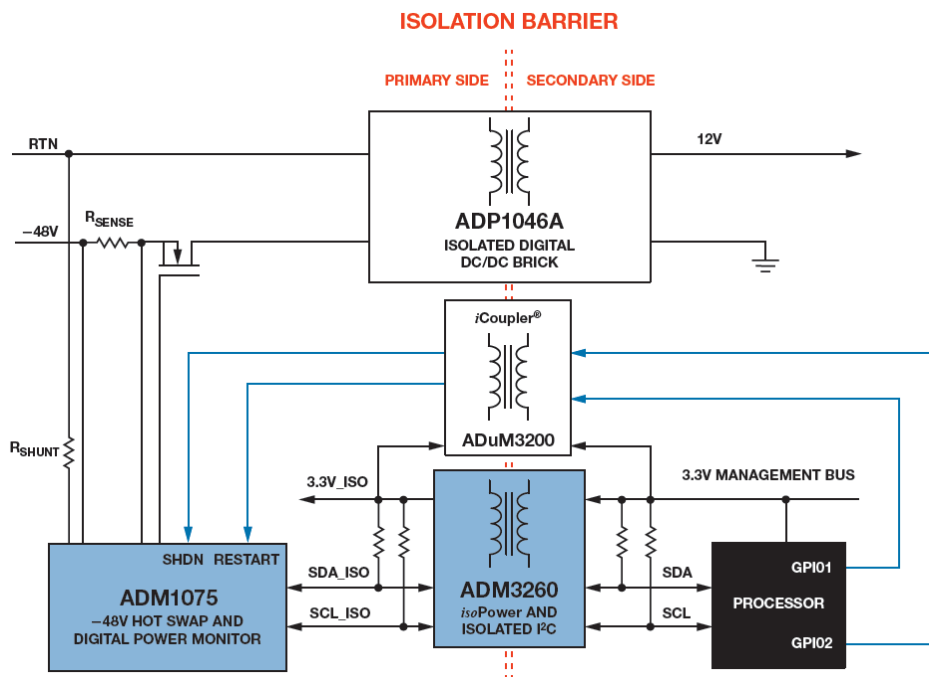


图 2. 典型的隔离式 PMBus 通信链路

由于在低压域中,原边参考-48 V 而副边参考地,因此需进行隔离。如果 I²C 端口不小心直接连接-48 V 电源,那么隔离可以防止器件永久性受损。隔离还能提供针对线路浪涌或接地环路产生的高压或电流的保护——系统有多重接地时便可能会发生这种情况。隔离电源通道(3.3 V_ISO)允许副边为原边供电,无需另行使用低压电源——这种低压电源在-48 V 域中不常见,且难以生成。跨越隔离栅的全部额外 I/O 信号都需要使用同样可由 ADM3260 供电的隔离器。为实现鲁棒的数据通信链路,连接 I²C 总线的每个 I²C 器件都必须隔离。

隔离式 I²C 应用示例有:

- I²C、SMBus 或 PMBus 接口隔离
- 用于电源的电平转换 I²C 接口
- 网络
- 以太网供电
- 中央交换
- 电信与数据通信设备
- 隔离数据采集系统
- -48 V 分布式电源系统
- -48 V 电源模块

通常需通过 I²C 总线并跨越隔离栅传输精密转换器数据(ADC 或 DAC)。图 3 显示两个隔离数据采集系统。这些应用还需要隔离式电源来为副边的转换器和放大器供电。

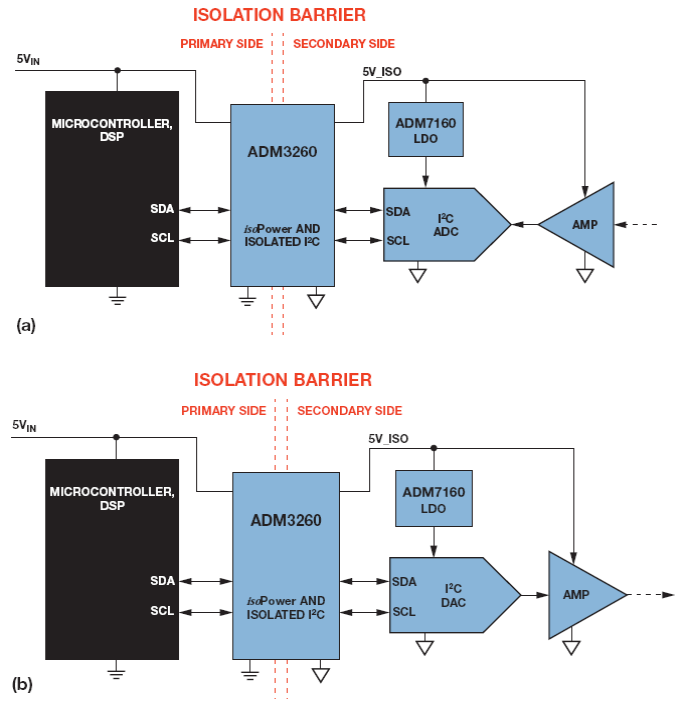


图 3. (a) 隔离式 I²C ADC 与放大器 (b) 隔离式 I²C DAC 与放大器

某些应用要求通道间隔离,其中每条通道都与其他所有通道隔离,如图 4 所示。

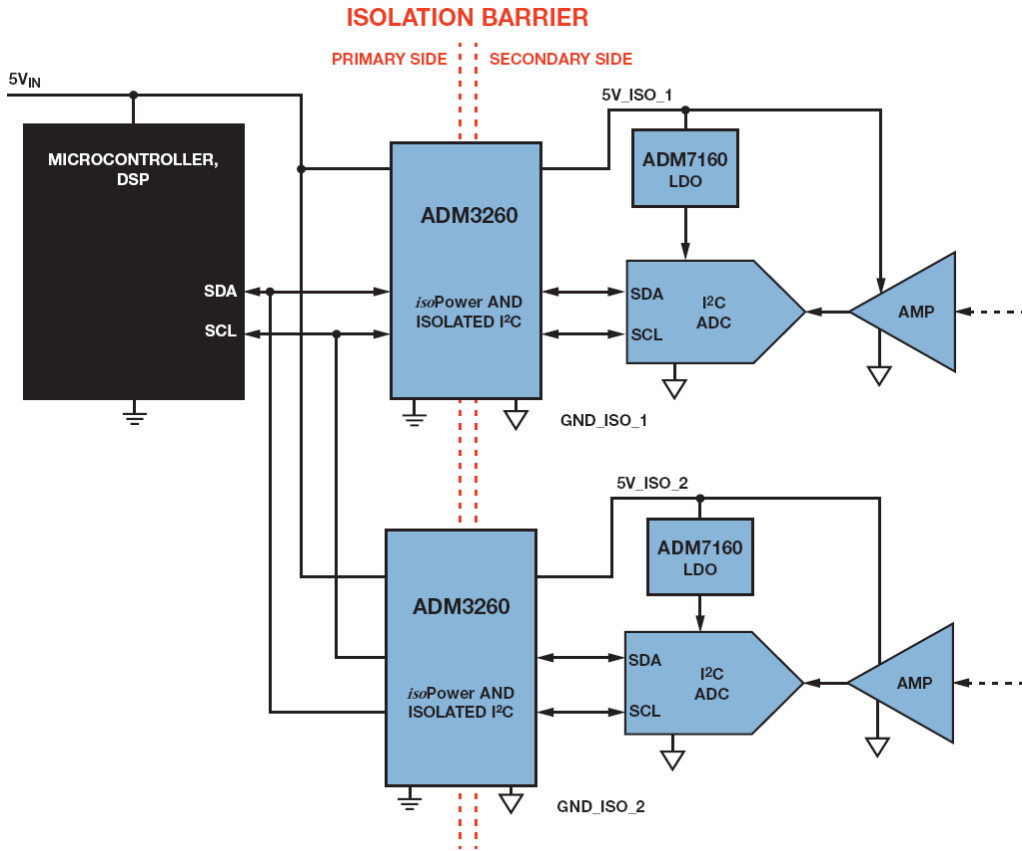


图 4. 通道间隔离 I²C ADC 与放大器

在较为庞大的系统中，不同的电压域之间需要进行电平转换。一个例子便是在电信机架式系统中的每个线路卡上隔离 PMBus。图 5 是一款典型的电信应用，具有多个线路卡，可插入到 -48 V 背板中。本应用中，隔离器对 I²C 逻辑信号进行电平转换操作，将其从 -48 V 背板转换为完全隔离式 +12 V 系统。

使用隔离式 DC-DC 电源或 ADI 的 *isoPower*[®] 集成式 DC-DC 转换器技术可实现 I²C 通信链路的电源隔离。使用光耦合器或 ADI 的 *iCoupler*[®] 技术可实现信号隔离。

实现隔离式 I²C 接口

必须原边智能器件（比如 ADC 或 DAC）与副边处理器之间实现双向数据传输，并且电源必须从原边传输至副边。如需隔离数据链路，就必须同时隔离数据线路和电源。所有连接 I²C 链路的器件都必须与 I²C 总线隔离，如图 6 所示。

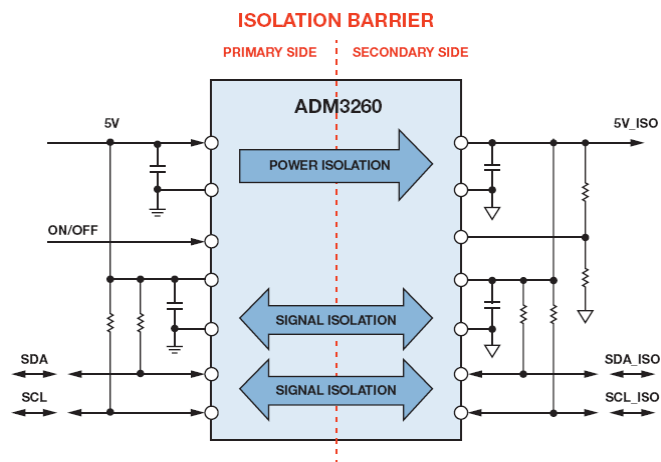


图 6. 隔离式 I²C 接口

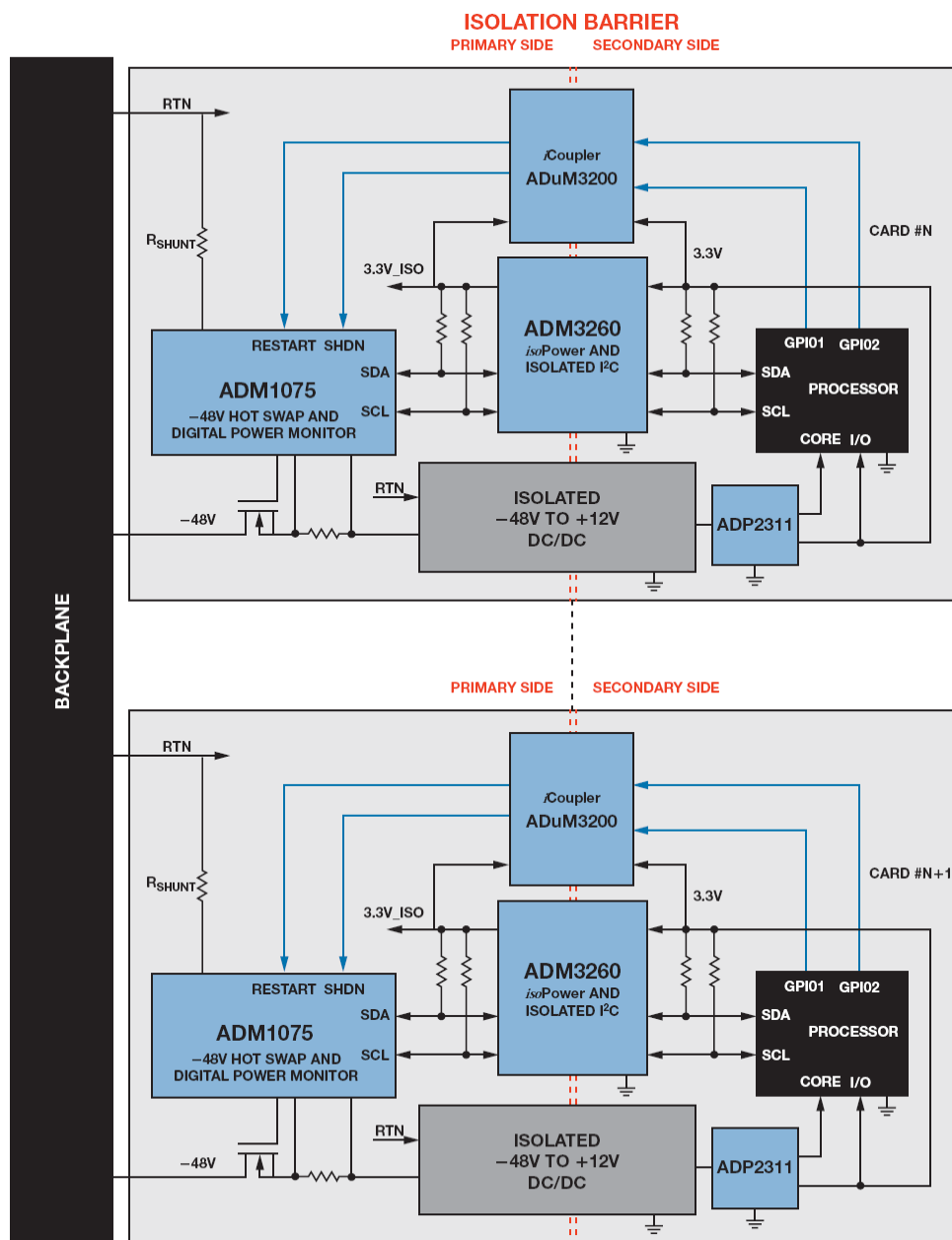


图 5. -48 V 应用中的 PMBus 信号隔离与电平转换

隔离式 I²C 接口挑战

由于 I²C 接口是双向的, 进行隔离的同时避免总线毛刺和锁定将有一定难度。图 7 是一个基于光耦合器的接口。光耦合器是单向的, 因此每条双向 I²C 线路必须分割为两条单向线路。隔离一个完整的 I²C 接口需要用到 4 个光耦合器和几个无源器件。由此产生的成本、PCB 面积以及复杂性降低了简单的低成本双线式 I²C 接口本身的价值。注意, 还需要一个隔离式电源。

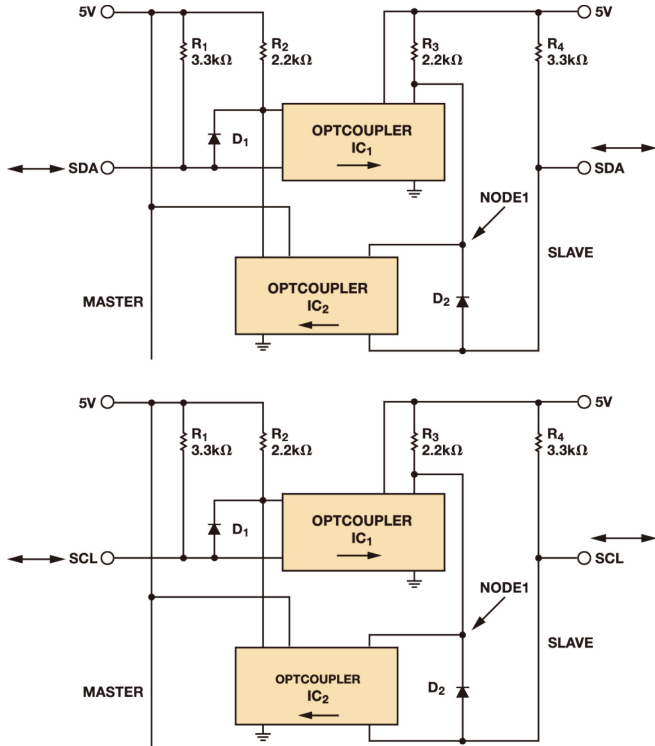


图 7. 基于光耦合器的 I²C 接口

隔离技术：数据和功率

图 8 比较了两种主要的隔离技术。iCoupler 技术(a)使用厚膜工艺技术构建微型片内变压器, 实现 2.5 kV 隔离。较古老但广泛采用的光耦合器解决方案(b)则采用发光二极管(LED)和光电二极管。LED 用于将电信号转换为光, 光电二极管则用于将光转换回为电信号。光电转换本身的低转换效率导致功耗相对较高; 光电二极管的慢速响应则限制其速度; 而老化问题会限制其使用寿命。

通过使用晶圆级工艺制造片内变压器, 则 iCoupler 通道能以较低的成本相互集成, 以及与其他半导体功能集成。一个例子便是集成 DC-DC 转换器的热插拔双通道 I²C 隔离器 [ADM3260](#)。iCoupler 隔离技术在很多方面克服了光耦合器所造成的限制: 这些易于使用的器件缩小整体解决方案尺寸、系统成本和功耗, 同时提升了性能和可靠性。此外, 采用 iCoupler 技术, 则性能不会因为电流传输比(CTR)而下降——标准光耦合器的 CTR 会随着时间推移而老化——并且 iCoupler 是双向技术, 而光耦合器技术是固有单向技术。

不久前, 在隔离端创建一个低压电源尚需使用相对较大且昂贵的独立 DC-DC 转换器, 或者需采用定制的分立电路, 如图 9 所示。这些方法是仅有的替代方案, 哪怕对于 I²C 数据通信或其他只需少量隔离式电源的应用亦是如此。

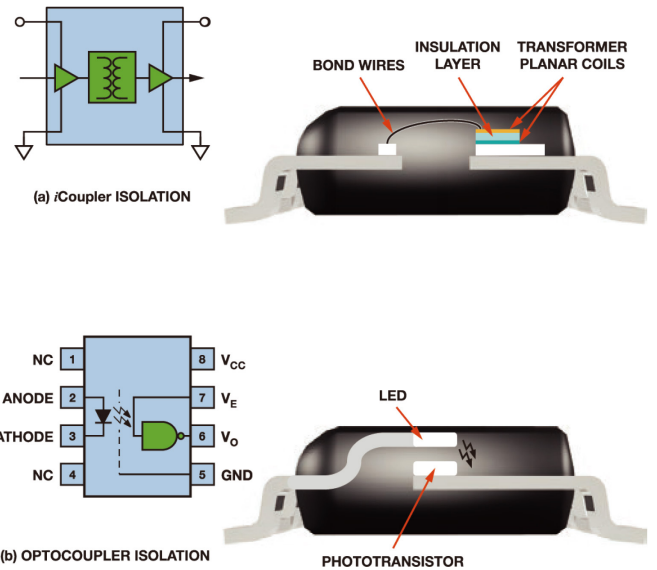


图 8. 隔离技术比较: (a) iCoupler 隔离 (b) 光耦合器隔离

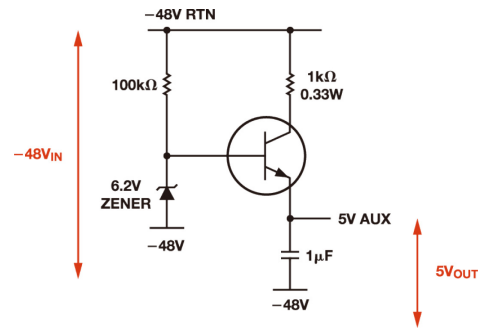


图 9. 用于电源隔离器的分立式 -48 V 至 5 V 电源解决方案

为了解决这一问题, ADI 开发了一款完整的全集成式解决方案, 利用微变压器跨越隔离栅实现信号和电源传输。这是对我们完善 iCoupler 技术的延伸, 是一种突破性的替代方案, 称为 isoPower。该方案可利用单个元件实现高达 5 kV 的信号与电源隔离, 无需使用隔离式电源, 大幅缩小典型 I²C 总线的 PCB 面积、缩短设计时间并降低总系统成本。

集成 DC-DC 转换器的双通道 I²C 隔离器

图 10 将使用分立元件的 PMBus 隔离解决方案与完全集成式解决方案进行了比较。这款分立式方案需要使用 4 个光耦合器进行隔离、一个隔离式电源以及复杂的模拟电路来防止闩锁并抑制毛刺。隔离式电源采用变压器驱动器 IC 来驱动分立式变压器, 并与简单的整流器和低压差调节器配合, 净化隔离供电轨。该设计需要 8 个 IC 和多个无源器件, 导致接口成本上升、PCB 面积增加、可靠性下降。

集成式解决方案采用单个 IC, 搭配所有 I²C 接口都会配备的去耦电容以及上拉电阻后, 可提供完全隔离的双向 I²C 接口与隔离电源。ADM3260 不会产生任何毛刺和锁定问题, 具有经过 UL 认证的 2.5 kV rms 隔离额定值, 采用 20 引脚 SSOP 封装。该器件提供双向隔离式数据与时钟线路和隔离式电源, 无光耦合器的尺寸、成本和复杂性问题的。

该单芯片解决方案能够显著缩减隔离式 I²C 接口所需的成本、设计时间和 PCB 面积，同时提升可靠性。该产品无需修改即可采用 3.3 V 或 5 V 电源供电，避免采用分立式设计时所必需的设计变更，同时提供 150 mW 输出功率(5 V)或 65 mW 输出功率(3.3 V)，可用来上电 ADC、DAC 或隔离端的其他小系统。

瞬变保护

为了让隔离式接口能够在工业应用等恶劣工作条件下运行，iCoupler 和 isoPower 隔离技术提供高于 25 kV/is 的共模瞬变抗扰度。它确定原边和隔离端之间电位差上升沿和下降沿上的最大电压摆率，确保耦合到总线的瞬变信号不会损坏连接总线的器件或破坏已传输的数据，同时增强数据链路可靠性。

2.5 kV 隔离保护和认证

该隔离解决方案的器件原边与隔离端之间隔离额定值为 2.5 kV rms。此隔离额定值保证电流无法从原边流入 I²C 总线，并且耦合至总线的电压或瞬变信号不会到达逻辑端。2.5 kV 隔离保护还意味着，可以保护逻辑端的用户与设备不受总线端的高电压或瞬变影响。ADM3260 的 2.5 kV 隔离额定值正在接受下列机构的认证：美国保险商实验所(UL)、德国电气工程师协会(VDE)和加拿大标准协会(CSA)。UL 1577 认证要求所有器件的隔离栅都要 100%经过生产测试。ADM3260 提供：

- UL 认证
- 依据 UL 1577，1 分钟 2500 V rms
- VDE 合格证书
- IEC 60747-5-2 (VDE 0884, Part 2)

- VIORM = 560 V_{PEAK}
- CSA 元件验收通知#5A

PCB 布局

进行正确的 PCB 布局对于确保在实际设计中实现 2.5 kV 的额定隔离性能至关重要。主要考虑因素是逻辑端 GND 和总线端 GND 之间的爬电距离（导线表面之间沿壳体的最短距离）和电气间隙（最短空气距离）。ADM3260 的逻辑接口不需要外部电路。输入和输出供电引脚需要电源旁路，如图 11 所示。欲了解有关 PCB 布局指南和电磁辐射(EMI)控制的更多信息，请参考 [AN-0971 应用笔记“isoPower 器件的辐射控制建议”](#)。

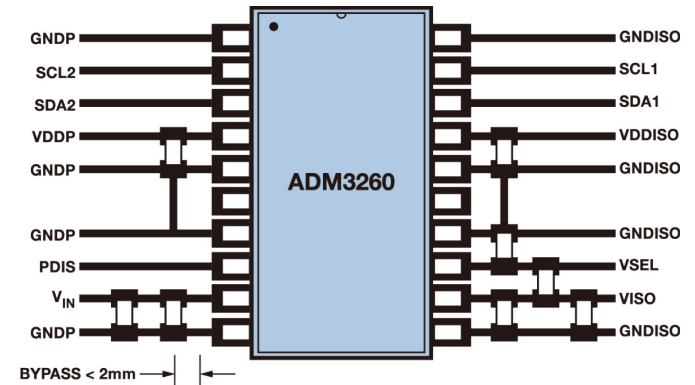


图 11. ADM3260 推荐的印刷电路板布局

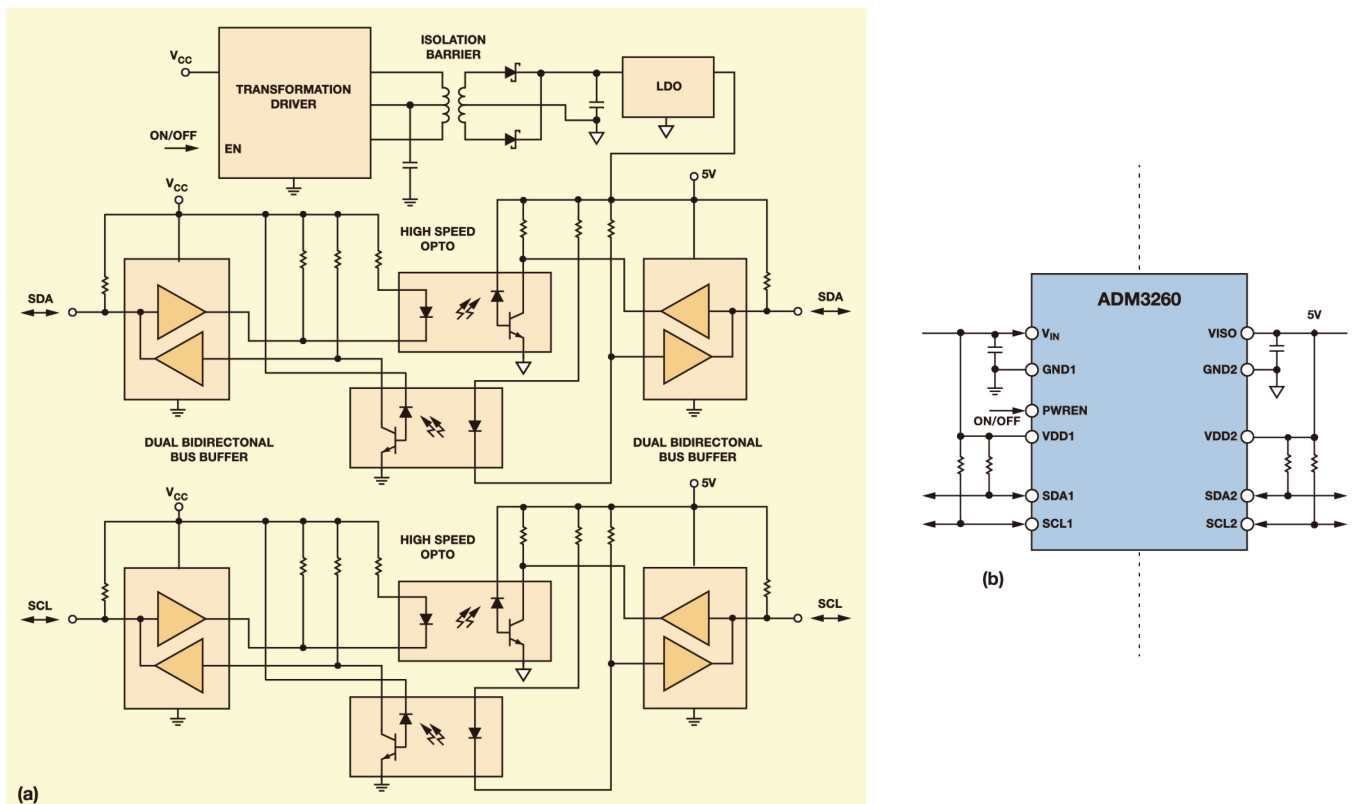


图 10. 隔离式 I²C 设计对比：(a) 分立式解决方案 (b) 集成式解决方案

ADM3260 应用与优势

ADM3260 热插拔隔离器同时提供数据和电源隔离。两路无门锁、双向通信通道支持完整的隔离式 I²C/PMBus 接口和集成式 DC-DC 转换器，提供最高 150 mW、3.15 V 至 5.25 V 范围的隔离式电源。拥有双向通道则无需将 I²C/PMBus 信号分成单独的发送信号与接收信号，供独立光耦合器使用。集成式 DC-DC 转换器能以小尺寸实现完整的隔离式 I²C/PMBus 接口。采用 20 引脚 SSOP 封装的 ADM3260 如图 12 所示，该器件具有 5.3 mm 爬电距离，工作温度范围为-40°C 至+105°C，千片订量报价为 2.99 美元/片。

除了为热插拔中央交换局线路卡提供 I²C 总线隔离，ADM3260 还可用来隔离恶劣工业环境下的数据采集设备、通过以太网提供电源和电平转换，以及用于其他各类应用中。

结论

工业与仪器仪表、电信和医疗应用中的隔离式 I²C/PMBus 链路解决方案要求做到尺寸小、性能稳定、价格适中。通过集成芯片级变压器隔离，单芯片可实现完全隔离式 I²C/PMBus 数据链路，并包含隔离式电源。热插拔、双通道 I²C 隔离器 ADM3260 集成 DC-DC 转换器，是一款紧凑、可靠、低成本、高性能解决方案，可用于这些标准严苛的应用中，并显著减少电路复杂程度，大幅缩短设计时间。

参考文献

I²C 数字隔离器

数字隔离器产品选型与资源指南

采用 isoPower™技术的 iCoupler® 产品：利用微变压器跨越隔离栅实现信号和功率传输

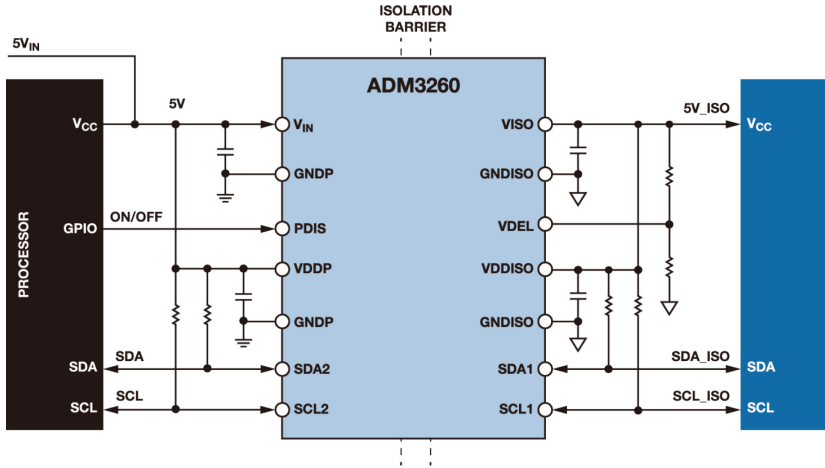


图 12. ADM3260 隔离式 I²C/PMBus 接口

I²C 数字隔离器

产品型号	隔离额定值 (kV rms)	最大数据 速率 (Mbps)	行检查	串行数据	P _{OS} 电源最 小值	P _{OS} 电源最 大值	电源电流 (mA)	最大工作 温度 (°C)	车应用 推荐	报价 (美元/片) ¹
ADM3260	2.5	1	双向	双向	3	5.5	9.5	105	—	\$2.99
ADUM2551	5	1	单向	双向	3	5.5	—	105	—	\$2.77
ADUM2250	5	1	双向	双向	3	5.5	—	105	—	\$3.00
ADUM1251	2.5	1	单向	双向	3	5.5	—	105	是	\$2.20
ADUM1251	2.5	1	双向	双向	3	5.5	5	105	是	\$2.20

¹ 所有价格为美元报价（订量：1000片到4999片）。



Maurice O'Brien

该作者的其他文章：
适合空间受限应用的最高功率密度、多轨电源解决方案

第47卷，第4期