参考文献

Application Note

过压耐受数字隔离器实现简化且稳健的系统设计

Aaditya Vittal, Koteshwar Rao, Michael Schultis

摘要

过压耐受输入是数字隔离器的输入引脚，可安全接受高于隔离器输入侧电源电压的逻辑信号。具有过压耐受输入的数字隔离器（如 ISO6441 和 ISO6041）提供了多项系统级优势，包括在高于电源的逻辑电平下安全运行，简化具有不同电源电压或电源时序的器件之间的连接，以及提高欠压条件下的稳健性。它们还可耐受寄生效应引起的信号过冲，在 EMC 瞬态期间无需额外滤波网络即可保持信号完整性，并使隔离器在系统正常运行的部分时段断电以降低功耗。通过减少对外部保护和滤波元件的需求，过压耐受输入还可帮助最小化电路板面积。本应用手册回顾了这些优势，并讨论了具有过压耐受输入的数字隔离器的实现注意事项。

内容

1 简介.....2
2 如何确定数字隔离器是否具有过压耐受输入？.....3
3 具有过压耐受输入的数字隔离器的优势.....4
3.1 安全地接受高于电源的输入电平.....4
3.2 简化具有不同电源或电源时序的器件之间的连接.....5
3.3 提高欠压条件下的稳健性.....6
3.4 通过在系统正常运行期间断电来降低功耗.....7
3.5 耐受寄生效应引起的信号过冲.....8
3.6 通过在 EMC 瞬态期间避免额外滤波网络来保持信号完整性.....9
3.7 减少电路板面积占用.....11
4 具有过压耐受输入的数字隔离器.....12
5 总结.....13
6 参考资料.....13

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

1 简介

数字隔离器中的过压耐受输入可以安全地接受高于隔离器自身输入侧电源电压的逻辑信号，而不会发生闩锁效应或向隔离器电源侧倒灌电流。该能力通常通过内部保护结构（例如反向二极管和钳位电路）实现，当输入被驱动至高于 VCC 时，可防止过多电流流入器件电源轨。因此，过压耐受输入允许数字隔离器直接与更高电压逻辑信号相连接，并耐受某些瞬态条件，而无需额外的电平位移或保护电路。

例如，ISO6441 等过压耐受数字隔离器可允许低压隔离域（如 2.5V）接收来自更高压域（如 5V）的信号（图 1-1）。这简化了具有不同电源电压或电源时序的器件之间的连接，减少了元件数量和电路板面积，并可提高欠压条件期间的系统稳健性。这些输入还可耐受寄生效应引起的信号过冲，同时通过减少对额外滤波网络的需求，在 EMC 瞬态期间帮助保持信号完整性。在某些应用中，过压耐受输入能力还允许隔离器在信号仍然存在的部分系统正常运行时段内断电，从而帮助降低系统功耗并简化电源时序。

过压耐受输入特别适用于以下应用：

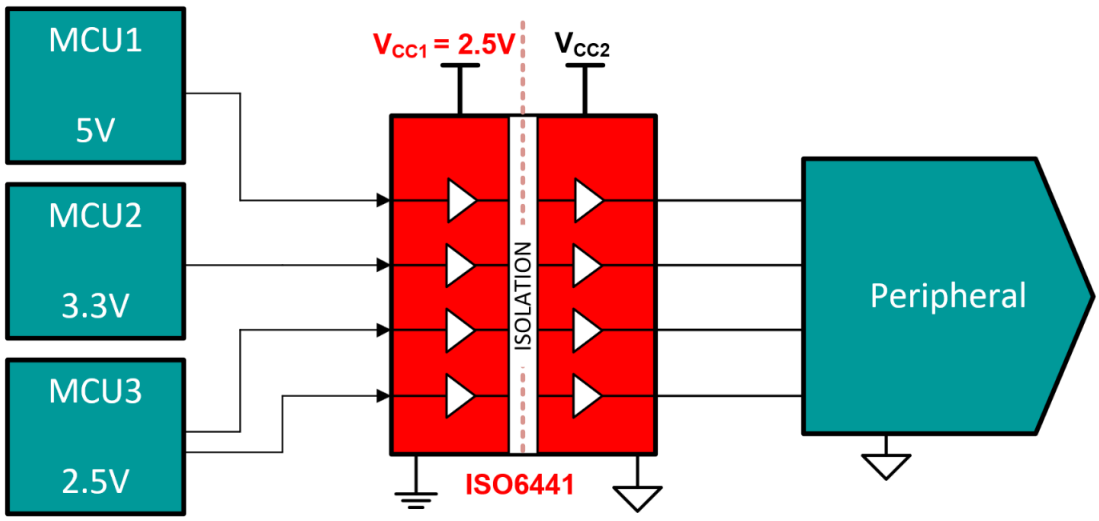


图 1-1. 使用具有过压耐受输入的数字隔离器的混合电压域方框图

过压耐受输入特别适用于以下应用：

- 工业 I/O
- PLC 模块
- 电机驱动器
- 电力电子栅极驱动器接口

在这些应用中，场侧逻辑信号、电源时序条件、寄生效应引起的过冲或瞬态事件可能导致输入电压暂时超过隔离器电源电压。过压耐受输入支持在器件指定工作限值内适应这些条件，同时保持数字隔离、防噪性能和安全合规方面的优势。通过减少对外部电平位移器、保护元件和滤波网络的需求，过压耐受输入可优化整体设计并提高系统级稳健性。

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

2 如何确定数字隔离器是否具有过压耐受输入？

具有过压耐受输入的数字隔离器可承受超过器件电源电压的电压。可通过查看数据表中的绝对最大额定值部分来验证此功能，其中输入电压规格指示了输入是否耐受过压。

在 ISO6741 等数字隔离器的数据表中，可找到指定为 VCC + 0.5V 的输入电压额定值（图 2-1）。这表明允许的输入电压直接与 VCC 电源电压相关。超过该限值将违反绝对最大额定值规格，并可能损坏器件，因此这些器件不支持过压耐受输入。

7.1 Absolute Maximum Ratings

See(1)

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage (2)	V_{CC1} to GND1	-0.5	6	V
	V_{CC2} to GND2	-0.5	6	
Input/Output Voltage	INx to GNDx	-0.5	V_{CCX} + 0.5 (3)	V
	OUTx to GNDx	-0.5	V_{CCX} + 0.5 (3)	
Output current	Io	-15	15	mA
Temperature	Operating junction temperature, T_J		150	°C
	Storage temperature, T_{stg}	-65	150	°C

图 2-1. 没有过压耐受输入的数字隔离器的绝对最大额定值

在具有过压耐受输入的数字隔离器的数据表中，其允许的输入电压通常指定为固定范围，例如 –0.5V 至 6V（图 2-2）。与 ISO6741 中的输入限值相对于 VCC 进行表示不同，该电压范围独立于电源电压。因此，只要保持在绝对最大额定值限值内，即使电源断电，也可将信号施加到输入端。

6.1 Absolute Maximum Ratings

See(1)

		MIN	MAX	UNIT
Supply voltage (2)	V_{CC1} to GND1	-0.5	6	V
	V_{CC2} to GND2	-0.5	6	
Digital Input Voltage	INx to GNDx	-0.5	6	V
Digital Input Voltage	ENx to GNDx	-0.5	6	V
Digital Output Voltage	OUTx to GNDx	-0.5	V_{CCX} + 0.5 (3)	V
Digital Output current	I_O	-15	15	mA
Temperature	Operating junction temperature, T_J		150	°C
	Storage temperature, T_{stg}	-65	150	°C

图 2-2. 具有过压耐受输入的数字隔离器的绝对最大额定值

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3 具有过压耐受输入的数字隔离器的优势

使用具有过压耐受输入的数字隔离器可带来许多优势，有助于简化设计，同时可能使系统运行更加灵活。以下章节列出了在系统中使用具有过压耐受输入的数字隔离器的各种优势和实现方式。

3.1 安全地接受高于电源的输入电平

过压耐受输入使 TI 数字隔离器能够接受高于其本地电源电压的输入信号，而不会被损坏。当数字逻辑信号来自以不同电压供电的器件，或输入侧尚未完全上电时，这一能力尤其有用。在实践中，它使混合电压和电源时序情况更容易处理。

例如，如果 MCU（或任何上游驱动器）可向数字隔离器输入引脚提供 5V 信号，而电源电压处于较低电平，如 2.5V 或 3.3V：

1. 在这种配置中，没有过压耐受输入的数字隔离器可能因违反绝对最大额定值规定而出现意外行为或损坏（图 1-1）
2. 在具有过压耐受输入的数字隔离器中，其可支持这种混合电压应用而不会对应用功能造成负面影响（图 2-1）

图 3-1 展示了 ISO6441 数字隔离器的这一行为。波形显示了三个同步信号（表 3-1）：

表 3-1. 波形图例

颜色	波形信号	说明
红色	电源电压 (V_{CC1}/V_{CC2})	2.5V 直流电压电源
黄色	输入引脚 (INx)	5V 输入信号
蓝色	输出引脚 (OUTx)	输出跟随输入信号变化。由于 VCC2 = 2.5V，输出信号使用相同电压电平重现具有相同频率的 2.5V 信号

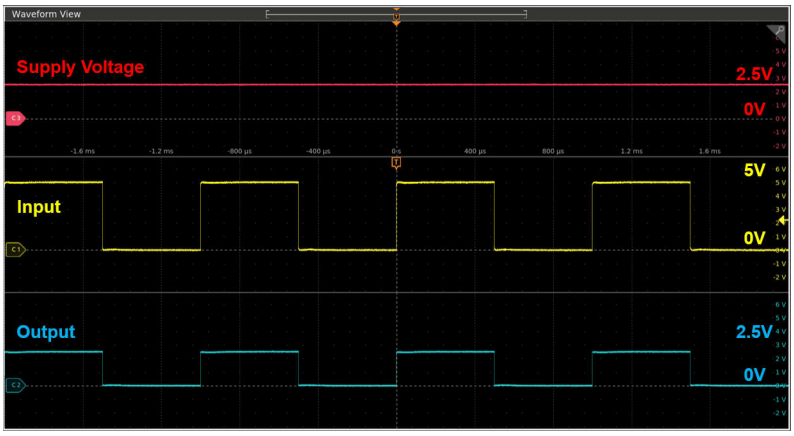


图 3-1. 波形显示输入电压大于电源电压

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.2 简化具有不同电源或电源时序的器件之间的连接

具有过压耐受输入的数字隔离器使设计人员能够简化应用中的电源时序。隔离通道可以独立于周围逻辑加电或断电，同时数据总线仍保持正确定义。这减少了对复杂时序逻辑的需求，并增强了整体系统稳健性，尤其是在 MCU 必须在其他器件仍在初始化时保持运行状态的应用中。

对于没有过压耐受输入的数字隔离器，在隔离器断电时施加输入信号可能导致电流通过初级侧倒灌进入内部二极管结构中，并可能损坏隔离器。因此，设计人员通常需要更加关注元件加电时间与隔离器加电时间之间的关系，往往需要添加元件来提供额外保护，以避免对隔离器造成应力。

对于具有过压耐受输入的数字隔离器，隔离器设计对加电和断电瞬态不太敏感。由于输入引脚可承受高于隔离器自身电源的电压，即使隔离器电源仍处于断电状态，也可以将逻辑电平信号驱动到输入端。

这一能力使数据路径的时序可以独立于隔离通道的电源时序，使 MCU（或任何上游驱动器）在系统启动和关闭期间保持运行，而不会产生闩锁效应或损坏隔离器的风险。

图 3-2 展示了 ISO6441 数字隔离器的这一行为。波形显示了三个同步信号（表 3-2）：

表 3-2. 波形图例

颜色	波形信号	说明
红色	输入侧电源电压 (VCC1)	最初为 0V（隔离器未上电）
黄色	输入引脚 (INx)	无论电源电压多大，持续施加有效逻辑电平波形
蓝色	输出引脚 (OUTx)	当 VCC1 = 0V 时，输出默认为 ISO6441 的内部上拉状态（逻辑高电平）。当 VCC1 越过其上电阈值时，输出立即跟随输入变化，重现输入引脚上存在的逻辑信号

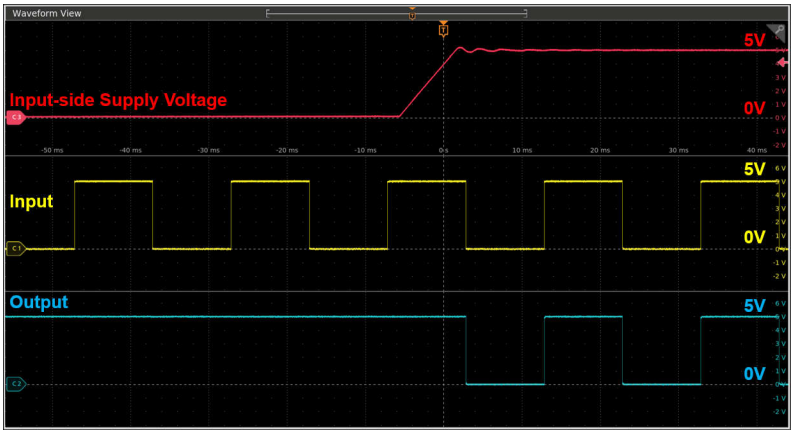


图 3-2. MCU 先上电并施加信号，数字隔离器后上电

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.3 提高欠压条件下的稳健性

具有过压耐受输入的数字隔离器可提高欠压条件下的系统稳健性，即使在隔离器本地电源电压因系统级 EMC 事件而降低或暂时不可用时，输入引脚仍能安全地耐受信号电压。

对于没有过压耐受输入的数字隔离器，这可能导致过多电流流过输入保护结构，从而可能引起意外电流注入、器件行为异常或可能损坏隔离器。

对于具有过压耐受输入的数字隔离器，隔离器的设计可在指定的建议工作条件下耐受高于其电源电压的输入电压，从而降低电源瞬态和欠压事件期间出现这些问题的风险。这在电源时序方面提供了更大的灵活性，并有助于防止在隔离器电源不稳定时输入信号成为应力来源。

在欠压事件期间，可能在隔离器电源电压受到扰动或暂时下降的同时，上游器件保持运行并继续驱动信号。当隔离器电源电压恢复后，系统恢复正常信号传输。

图 3-3 展示了 ISO6441 数字隔离器的这一行为。波形显示了三个同步信号（表 3-3）：

表 3-3. 波形图例

颜色	波形信号	说明
红色	输入侧电源电压 (VCC1)	VCC1 最初为 5V，发生短暂欠压事件，使 VCC 降至 0V 并持续 20-30ms，然后恢复至 5V
黄色	输入引脚 (INx)	无论电源电压多大，持续施加有效逻辑电平波形
蓝色	输出引脚 (OUTx)	输出最初跟随输入信号变化。在欠压事件期间，输出进入默认高电平状态，直到 VCC1 恢复

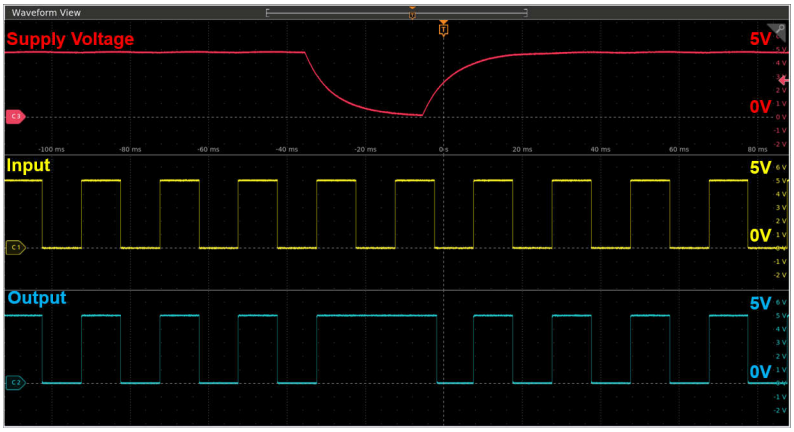


图 3-3. 电源电压经历瞬时欠压事件

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.4 通过在系统正常运行期间断电来降低功耗

数字隔离器的一个实际优势是能够在不需要信号传输时暂时移除器件电源。隔离器断电时，它会停止驱动输出侧，消除不必要的开关活动并降低隔离器消耗的功率。

对于没有过压耐受输入的数字隔离器，要么信号传输以及隔离器本身需要断电，要么需要保持所有部分开启，这使得设计人员必须解决外设和隔离器的电源时序问题。

对于具有过压耐受输入的数字隔离器，隔离器可提供额外的灵活性：当系统实际不需要信号时，允许在 MCU 仍施加输入信号的情况下关闭电源。

这种方法在长时间处于稳定状态或非活动通信模式的系统中特别有用。通过在这些时段禁用隔离器，并在需要信号传输时重新启用隔离器，系统设计人员可以降低整体能耗，而无需更改系统其余部分。

为了证明这一节能优势，可在具有过压耐受输入的数字隔离器上测量两种条件下的 ICC：

1. 数字隔离器上电并施加输入信号
2. 数字隔离器断电，同时相同输入信号仍然存在。

比较两次测量，有助于量化通过在不需要信号传输时暂时禁用隔离器可消除的电流（表 3-4）。

表 3-4. 数字隔离器 I_{CCx} 比较

测试条件	ICC1	ICC2
ISO6441 VCC1 = VCC2 = 5V 输入信号 = 5V，100kHz	4.2mA	2.2mA
ISO6441 VCC1 = VCC2 = 0V 输入信号 = 5V，100kHz	-0.0078mA	0mA

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.5 耐受寄生效应引起的信号过冲

具有过压耐受输入的数字隔离器可提高系统对寄生元件引起的信号过冲的稳健性。PCB 走线电感、封装寄生效应、连接器电容及其他相关效应可能产生超过电源电压的瞬态电压尖峰。

对于没有过压耐受输入的数字隔离器，其输入结构只能在相对于其电源的指定输入电压范围内工作（图 1-1）。在快速信号跳变期间，寄生电感和电容可能导致输入电压暂时超过电源轨。这些瞬态过压条件可能对输入电路造成应力，尤其是在高开关频率下反复发生过冲时。

对于具有过压耐受输入的数字隔离器，输入电压完全独立于电源电压（图 2-1），并允许隔离器耐受高于其电源电压的指定范围的输入电压。这为应对 PCB 和系统级寄生效应提供了额外的设计裕量，并可在具有快速开关信号、长走线、连接器等可能产生信号过冲的应用中提高稳健性。

图 3-4 展示了 ISO6441 数字隔离器的这一行为。波形显示了三个同步信号（表 3-5）：

表 3-5. 波形图例

颜色	波形信号	说明
红色	输入侧电源电压 (VCC1)	VCC1 最初为 5V，发生短暂欠压事件，使 VCC 降至 0V 并持续 20-30ms，然后恢复至 5V
黄色	输入引脚 (INx)	无论电源电压多大，持续施加有效逻辑电平波形
蓝色	输出引脚 (OUTx)	输出最初跟随输入信号变化。在欠压事件期间，输出进入默认高电平状态，直到 VCC1 恢复

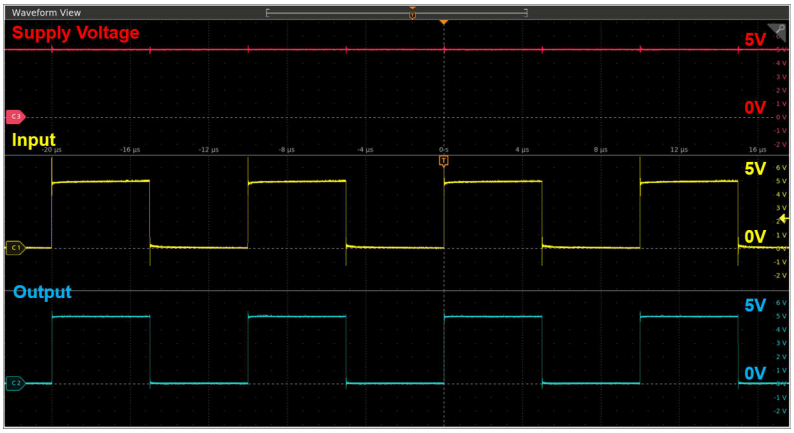


图 3-4. 瞬态引起的输入电压过冲

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.6 通过在 EMC 瞬态期间避免额外滤波网络来保持信号完整性

过压耐受输入可减少信号路径上的外部保护和滤波元件需求，从而帮助保持信号完整性。

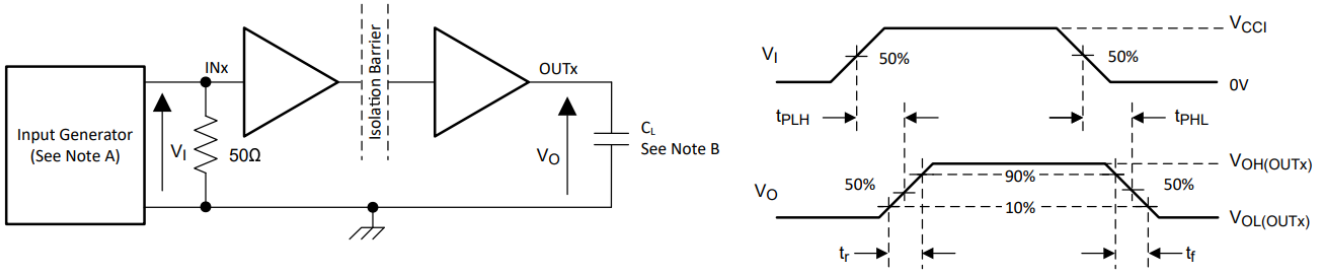
对于没有过压耐受输入的数字隔离器，可使用钳位、二极管、RC 滤波器或其他滤波网络等额外电路，以保护输入免受瞬态电压影响。这些元件会增加信号路径的阻抗和寄生效应，可能引入信号失真、增加传播延迟并降低信号完整性，尤其是在快速开关或 EMC 瞬态期间。

对于具有过压耐受输入的数字隔离器，隔离器可直接在绝对最大额定值内耐受更高的输入电压，从而减少信号路径上的额外元件需求。通过简化信号路径并最小化附加阻抗，可保持信号时序，同时降低电路板复杂度和减少元件数量。

为了证明这一优势，将输入引脚上带 RC 网络的 ISO6441 数字隔离器（图 3-6）与信号路径上没有额外滤波的 ISO6441（图 3-7）进行了比较。两种配置均使用 50KHz 输入信号和 50Ω 终端，并在示波器上测量传播延迟。

捕获输入和输出信号的上升沿，并用于计算传播延迟。在 ISO6441 数据表的参数测量信息（图 3-5）下，提供了测试设置、测量计算和说明。通过取输入上升沿和输出上升沿中点之间的时间差，可计算传播延迟。

7 Parameter Measurement Information



A. The input pulse is supplied by a generator having the following characteristics: PRR ≤ 50kHz, 50% duty cycle, t_r ≤ 1ns, t_f ≤ 1ns, Z_O = 50Ω. At the input, 50Ω resistor is required to terminate INx (input) generator signal. The 50Ω resistor is not needed in the actual application.

B. C_L = 15pF and includes instrumentation and fixture capacitance within ±20%.

Figure 7-1. Switching Characteristics Test Circuit and Voltage Waveforms

图 3-5. ISO6441 数据表第 7 节 – 开关特性测试电路和电压

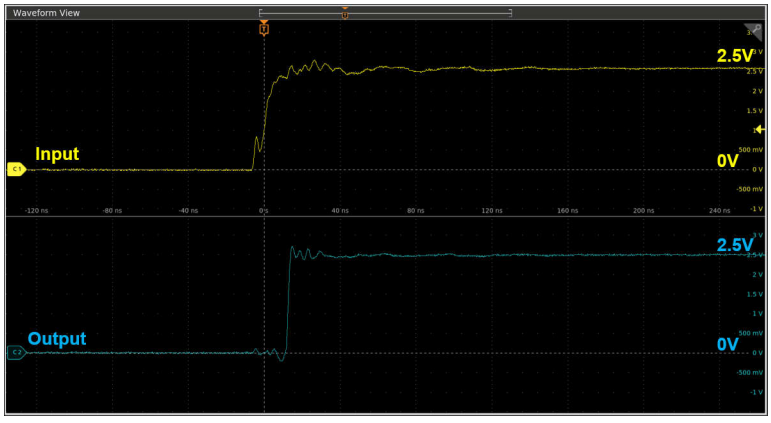


图 3-6. 输入引脚上带 RC 的 ISO6441；输入 = 50kHz，R = 1kΩ，C=100pF，50Ω 终端

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

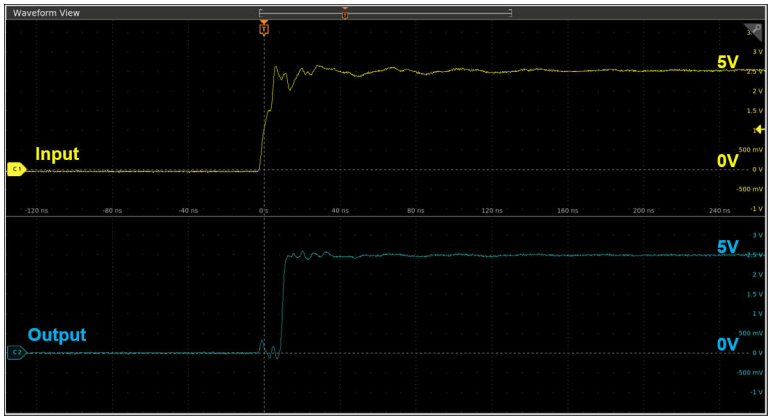


图 3-7. 仅 ISO6441；输入 = 50kHz，50Ω 终端

不带 RC 网络的配置表现出更快的传播延迟和更陡峭的输出方波，证明消除额外阻抗和滤波元件有助于保持信号完整性并改善信号性能。

表 3-6. 传播延迟测量

	仅限 ISO6441	输入侧带 RC 的 ISO6441（R = Ω，C = 100pF）
测得的传播延迟 (ns)	8.85ns	12.03ns

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

3.7 减少电路板面积占用

具有过压耐受输入的数字隔离器可帮助设计人员减少电路板面积占用和元件数量。在需要考虑信号过冲或瞬态电压的应用中，传统数字隔离器可能需要额外的滤波或保护元件，例如电阻器、电容器或其他元件。具有过压耐受输入的数字隔离器可以减少或消除对其中一些元件的需求，从而简化整体设计。

减少外部元件数量还有助于降低 BOM 成本并简化 PCB 布局。隔离接口周围的元件更少，可为其他电路提供额外的布板空间，同时降低组装要求和减少潜在故障点。

具有过压耐受输入的数字隔离器还提供了针对 PCB 优化的更小的封装选项，例如 DFP 和 DFB 封装。这使设计人员能够利用过压耐受输入能力，同时选择可实现精细、面积优化设计的封装。

图 3-8 展示了一些常见封装选项（如 16DW、8D）与具有过压耐受输入的数字隔离器的新封装选项（如 16DFP、16DFB 和 10DFB）之间的封装比较。有关封装选项和数字隔离器选择的更多信息，请参阅数字隔离器选择指南。

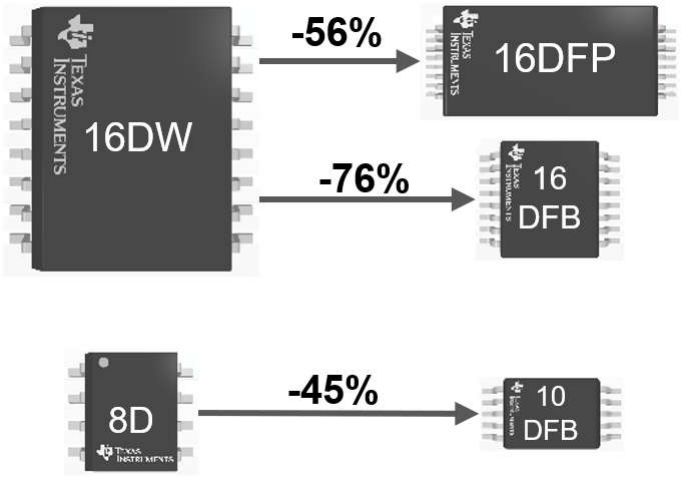


图 3-8. 16DW、8D 与 16DFP、16DFB 和 10DFB 之间的封装比较；显示封装面积百分比差异

Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

4 具有过压耐受输入的数字隔离器

商用器件	汽车器件	电源电压 (VCC) 范围	集成 DC/DC	特性
ISO60xx		1.71 至 5.5V	-	最高带宽：200Mbps，1.2ns（最大值），PWD 和通道间偏斜，每 Mbps 低功耗 (ICC)（1Mbps 时每通道最大 635μA），增强型隔离，小尺寸封装选项
ISO64xx	ISO64xx-Q1	2.25 至 5.5V	-	200kV/μs（最小值）CMTI，150Mbps 数据速率，增强型和基础型隔离，小尺寸封装选项
ISOW64xx	ISOW64xx-Q1	2.25 至 5.5V	是	具有集成式 DC/DC、低辐射、42.5% 高效输出功率的增强型数字隔离器
ISOW308x		2.25 至 5.5V	是	具有集成式 DC/DC、低辐射、41.5% 高效输出功率的全双工隔离式 RS485
ISOW1050		2.25 至 5.5V	是	具有集成式 DC/DC、低辐射、41% 高效输出功率的增强型数字隔离器

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

5 总结

总体而言，数字隔离器上的过压耐受输入允许输入端安全地接受超过器件电源电压的指定限值内信号，从而提供多项系统级设计优势。该能力简化了具有不同电源电压或电源时序的器件之间的连接，并可提高欠压条件下和寄生效应引起信号过冲期间的稳健性。通过减少对外部电平位移、保护和滤波网络的需求，过压耐受输入可在 EMC 瞬态期间保持信号完整性，减少元件数量和电路板面积，并简化整体设计。此外，在隔离器电源被移除或断电时仍能保持输入端有效运行，这一能力可在系统正常运行期间实现节能策略。

这些优势使过压耐受数字隔离器特别适用于工业自动化、PLC、电机驱动器和电力电子应用，这些应用中多电压域、电源时序条件和瞬态事件很常见。通过将电压域兼容性与稳健隔离和保护相结合，过压耐受输入可帮助设计人员开发更简单、更紧凑、更低功耗且更稳健的系统，同时持续符合适用的安全和可靠性要求。

6 参考资料

- 德州仪器 (TI)，*使用过压耐受输入保护您的数字隔离器*，产品概述。
- 德州仪器 (TI)，[常见问题解答] 数字隔离器的过压耐受输入是什么？- TI E2E 支持论坛，网页。
- 德州仪器 (TI)，[常见问题解答] 数字隔离器的信号电压能否与其电源电压不同？- TI E2E 支持论坛，网页。
- 德州仪器 (TI)，*数字隔离器设计指南*，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，*数字隔离器选择指南*，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，*有关数字隔离器的热门设计问题*，技术文章。

English Document: SDAA569
Copyright © 2026 Texas Instruments Incorporated

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出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