

## Technical White Paper

# 通过系统设计中的功能隔离减小解决方案尺寸并降低 BOM 成本



Manasa Gadiyar

### 摘要

过去十年，各种应用中的半导体消耗呈指数级增长。这种增长得益于半导体的重大技术进步，这些技术进步为系统设计带来了关键优势。

各种工业应用中的一个主要趋势是解决方案尺寸不断缩小。更小系统设计的优势实际上涵盖两个方面。首先，缩小解决方案尺寸可在电路板空间相同的情况下提高系统吞吐量。这对于需要更高电路板密度的应用至关重要，例如在半导体测试和测量中。更多的测试资源对于测试用于具有高 I/O 通道数的 AI/ML 应用的集成芯片至关重要。

此外，这些设计更时尚且更紧凑，从而减少了整体空间和成本，而系统功能没有任何变化。例如，提高可插拔充电器的功率密度（单位面积功率），使手机和笔记本电脑等设备更快、更小、更轻，是促进便携式消费电子产品电源需求增长的必要条件。

功能隔离器件体积更小且具有成本效益，有助于缩小设计。本白皮书介绍了与基础型/增强型隔离相关的功能隔离概念。它还说明了采用隔离器的各种应用，这些应用是整个行业的发展趋势，以及如何使用功能性隔离器来进一步减小解决方案尺寸并降低成本。

### 内容

1 引言.....	2
1.1 数字隔离器的常用用途是什么？.....	2
1.2 什么是功能隔离？.....	2
1.3 功能隔离的主要优势.....	2
2 应用用例.....	3
2.1 电信电源.....	3
2.2 服务器电源.....	5
2.3 可插拔壁式充电器中的交流/直流电源.....	7
2.4 半导体测试和测量.....	8
3 结语.....	8
4 参考资料.....	8

### 插图清单

图 1-1. TI 二氧化硅隔离器的横截面图.....	2
图 2-1. 使用 ISO65xx 的典型 48V 隔离式直流/直流实现.....	3
图 2-2. 采用 ISO65xx 的典型反相降压/升压实现.....	4
图 2-3. 采用 ISO65xx 实现的典型服务器电源单元 (PSU).....	5
图 2-4. 采用 ISO6521 的图腾柱 PFC 级.....	5
图 2-5. 采用 ISO6521 的半桥 LLC 级.....	6
图 2-6. 采用 ISO65xx 的典型有源钳位反激式实现.....	7
图 2-7. 采用 ISO65xx 的可堆叠隔离源测量单元 (SMU) 设计.....	8

### 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

### 1.1 数字隔离器的常用用途是什么？

数字隔离器的应用范围十分广泛，主要用于增强系统抗高压应力、浪涌保护和噪声隔离的稳健性。

具体来说，TI 的数字隔离器采用二氧化硅 (SiO<sub>2</sub>) 电介质，可提供一流的隔离性能。图 1-1 展示了 TI 隔离技术的交叉部分。

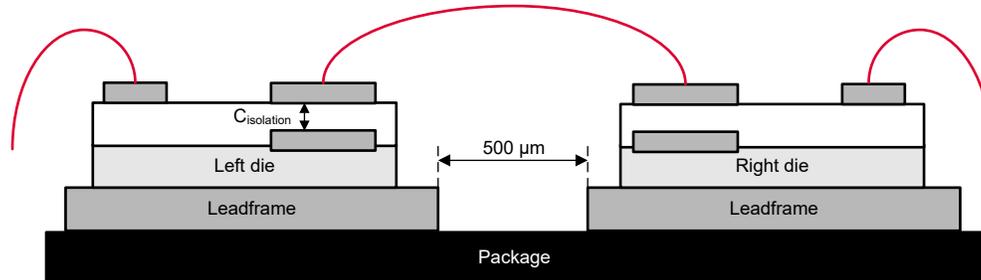


图 1-1. TI 二氧化硅隔离器的横截面图

TI 的基础型和增强型隔离器已根据标准机构进行认证，并经过全面测试以确保符合安全认证。通常，安全认证的数字隔离器可采用爬电距离至少大于 3.7mm 的业界通用 SSOP 或 SOIC 封装。在隔离性能方面，还考虑了时间相关电介质击穿 (TDDB) 性能和器件寿命的裕度，以确保出色的系统安全和认证合规性。

下面列出了一些大量使用数字隔离器的关键应用：

- 工厂自动化中的**高速串行外设接口 (SPI)** 隔离
- 各种电源拓扑中从数字控制器到栅极驱动器或功率 FET 的**脉宽调制 (PWM)** 信号隔离
- 半导体测试中跨隔离式可编程卡的**高速通信信号隔离**

### 1.2 什么是功能隔离？

很多时候，系统中使用隔离器是因为它们具有阻断高压共模的固有能力，在隔离栅上承受高开关噪声时保持信号完整性的稳健性，并且通常不是为了符合隔离器的安全标准或认证机构的要求。

例如：数字隔离器常用于安全特低电压 (SELV) 系统内部，以阻断高达 60V 的共模。在 SELV 系统中，通常没有浪涌或雷击保护等安全要求。这些设计中的数字隔离器仅用于阻断整个隔离栅上的高共模和噪声。

此类设计在非安全阶段仍会使用经过认证的基本或增强型数字隔离器，这可能会大材小用。

### 1.3 功能隔离的主要优势

对于需要隔离以实现高电压阻断和抗噪性，而不需要隔离以确保其认证合规性的应用，TI 的功能隔离器至关重要。这些解决方案是具有成本效益的替代方案，适用于需要隔离以确保正常系统功能而非本质系统安全性的应用。

TI 的功能隔离器 (ISO65xx) 采用业界通用封装，还可采用更小的薄型封装，以实现紧凑型系统设计中的高通道密度。

以下部分介绍了各种终端设备，这些设备可以将功能数字隔离器用于传统的工业范围应用。

## 2 应用用例

### 2.1 电信电源

由于对移动数据的需求增加，对电信基础设施的投资正在上升。这包括需要高效、轻便、紧凑设计的 5G 和 6G 基础设施部署。

一直以来，电信设备的标准总线电压为 -48V，通常源自电源或备用电池。从系统的角度来看，-48V 电池通过更大幅度地减少电池腐蚀，本质上延长了系统寿命。

但是，大多数后续电路由正电源轨供电。因此，隔离式和非隔离式直流/直流功率级在电信电源系统中变得至关重要。

#### 2.1.1 48V 隔离式直流/直流

隔离式直流/直流电源通常采用标准 H 桥级，如图 2-1 所示。为开关功率 FET 生成 PWM 信号的数字控制器可以以隔离侧或非隔离侧为基准。在图 2-1 中，数字控制器以隔离侧为基准。

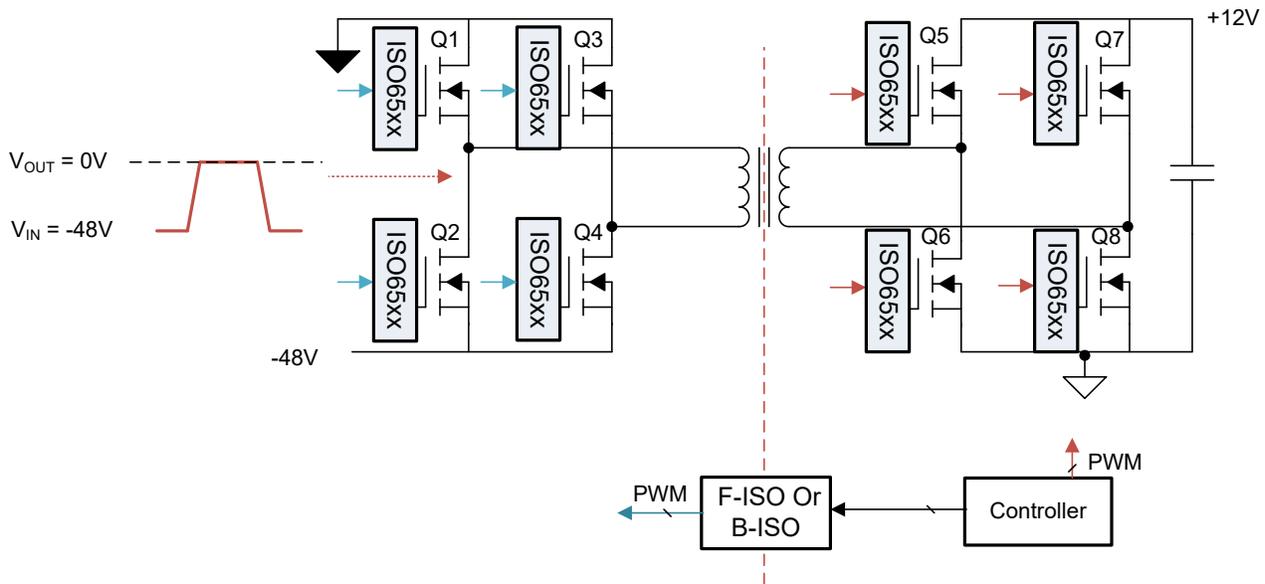


图 2-1. 使用 ISO65xx 的典型 48V 隔离式直流/直流实现

在非隔离侧，H 桥中的高侧功率 FET 需要一个电平转换信号来实现 FET 开关。此应用需要至少 100V 的阻断电压，并可抵抗隔离栅上的高压开关噪声 (>100kV/us)。

ISO65xx 等功能隔离器件非常适合此应用，能够在隔离栅上实现  $V_{IOWM} > 200V_{rms}$  的电压。隔离侧可以使用类似的实现方式，其中隔离器用于高压阻断。这些设计中的低侧 FET 还可以选择使用 ISO65xx 来匹配高侧和低侧之间的传播延迟。

48V 直流/直流隔离栅也可能只需要可使用 ISO65xx 的功能隔离。如果在整个功率级需要基础型隔离，则可以选择 TI 的数字隔离器系列（如 ISO6741）用于跨隔离栅的 PWM 通信。

### 2.1.2 48V 非隔离式直流/直流

非隔离式反相降压/升压 (IBB) 拓扑非常适合需要根据 -48V 输入的需求更改电源单元 (PSU) 输出电压的功率放大器应用。

以系统接地为基准的数字控制器使用辅助电源进行上电。该控制器根据所需的输出电压电平提供 PWM 信号。典型的 IBB 实现如图 2-2 所示。请注意，开关功率 FET ( Q1 和 Q2 ) 不以与控制器 IC 相同的基准节点为基准。

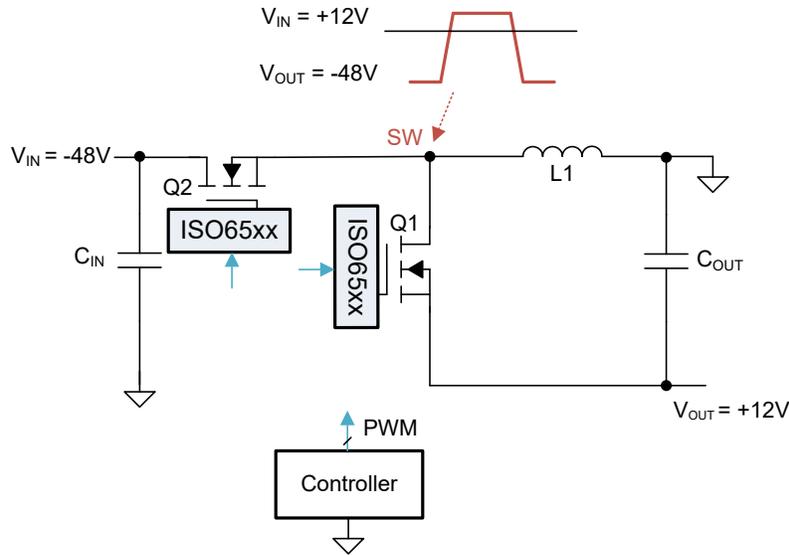


图 2-2. 采用 ISO65xx 的典型反相降压/升压实现

ISO65xx 系列功能隔离器可用于准确阻断整个隔离栅的开关噪声，并将 PWM 信号从控制器电平转换到功率 FET。对共模噪声的高抗扰度 (100kV/us) 对于确保在器件使用寿命期间实现可靠的系统性能至关重要。

控制器和 FET 之间所需的功能隔离工作电压 ( $V_{IOWM}$ ) 可高达 100V。ISO65xx 会阻断共模电压，以实现可靠的 FET 运行。

## 2.2 服务器电源

服务器电源单元 (PSU) 在其电源中具有各个级，用于实现高效的电力输送。它通常以交流电源作为输入源。

图 2-3 展示了服务器 PSU 级的典型方框图。

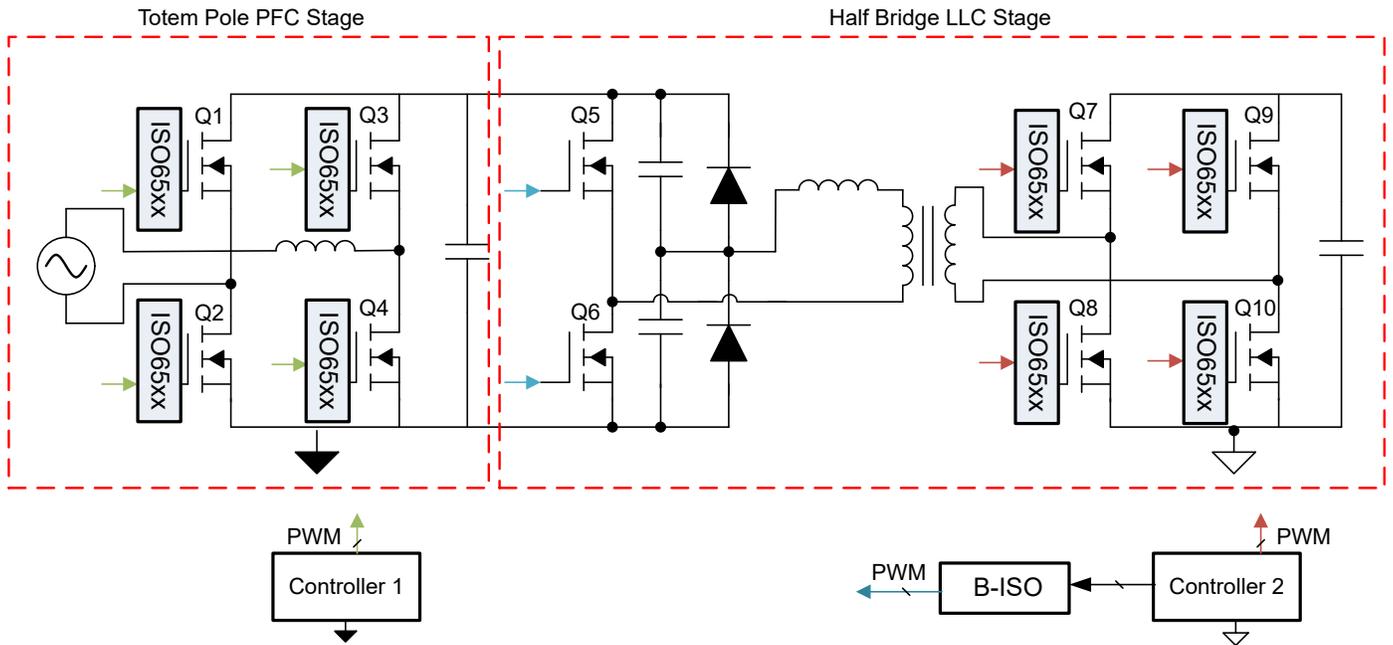


图 2-3. 采用 ISO65xx 实现的典型服务器电源单元 (PSU)

### 2.2.1 图腾柱功率因数校正级

实施功率因数校正 (PFC) 级，以提高整体效率，同时将传入的交流电源整流为直流总线电压。图 2-4 展示了一个典型的 PFC 级，该级具有一个使用功率 FET (如 GaN) 的快速开关桥臂和一个慢速开关桥臂。

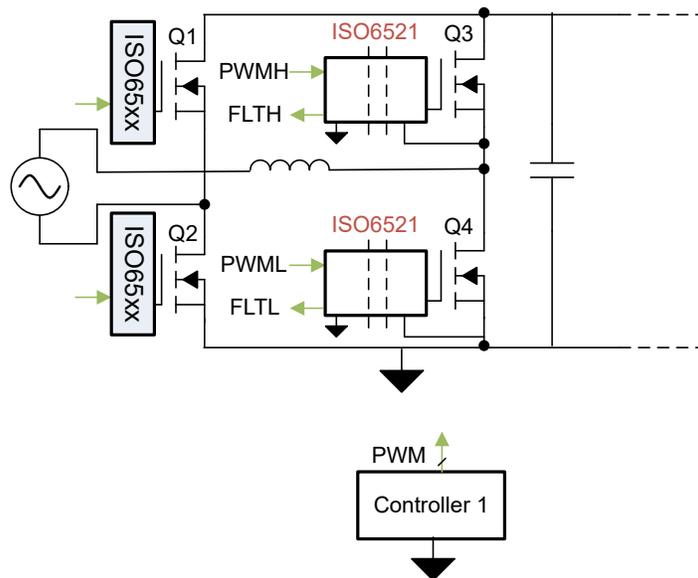


图 2-4. 采用 ISO6521 的图腾柱 PFC 级

开关控制输入来自可生成相应 PWM 信号的控制器。隔离器通常用于阻断高压共模，还可承受快速开关瞬变。

ISO65xx 系列器件是经过区域优化的解决方案，可用于在隔离栅上阻断大于 400V 的高电压共模和大于 100kV/us 的开关噪声。

### 2.2.2 半桥 LLC 级

PFC 级后跟一个半桥 LLC 级，用于根据系统要求将高压直流总线电压降至较低的电平。控制器现在以局部为基准，并生成 PWM 控制，用于在隔离侧切换功率 FET。

如图 2-5 所示，半桥级还可以有效地利用 ISO65xx 系列器件进行高侧电平转换并阻断 100kV/us 及以上的高压开关瞬变。

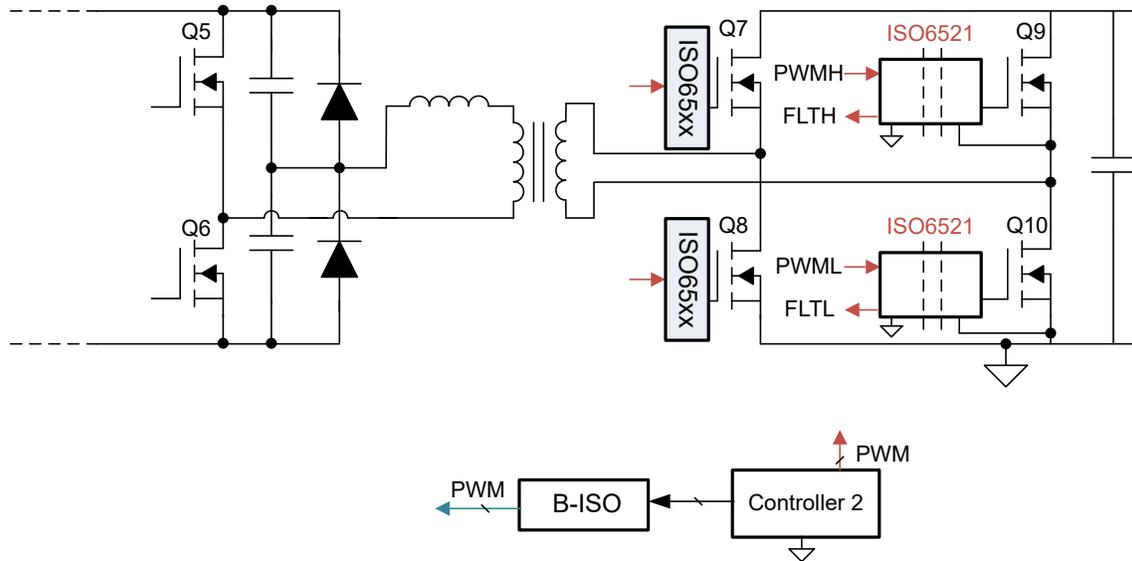


图 2-5. 采用 ISO6521 的半桥 LLC 级

控制器 2 热侧的 PWM 控制可以采用 ISO6741 等基本隔离器，以确保满足系统隔离要求。

## 2.3 可插拔壁式充电器中的交流/直流电源

### 2.3.1 引言

随着手机和笔记本电脑等消费类电子产品的速度越来越快且功能越来越丰富，对快速充电速度的需求也呈指数级增长。在这一趋势的推动下，适配器也开始向体积更小、密度更大、功率密度更高的方向发展。功率密度低至  $30\text{W}/\text{in}^3$  在当今市场上并不少见。通过转换到更快的开关功率 FET (如 GaN) 可实现如此高的功率密度，这有助于缩小功率转换所需的庞大磁性元件。

例如，在消费类市场中，壁式适配器中常见的交流/直流拓扑为准谐振 (QR) 和有源钳位反激式 (ACF)。TI 的 UCC28782 等 ACF 控制器用于生成切换功率 FET 所需的 PWM 信号。

### 2.3.2 拓扑详细信息

有源钳位反激式级的典型方框图如图 2-6 所示。控制器为功率 FET (Q3 和 Q4) 提供 PWM 信号。ACF 控制器可直接提供以初级接地为基准的低侧 FET (Q4)。但是，由于 Q3 以高压开关节点为基准，向高侧 FET (Q3) 提供 PWM 信号可能会变得具有挑战性。

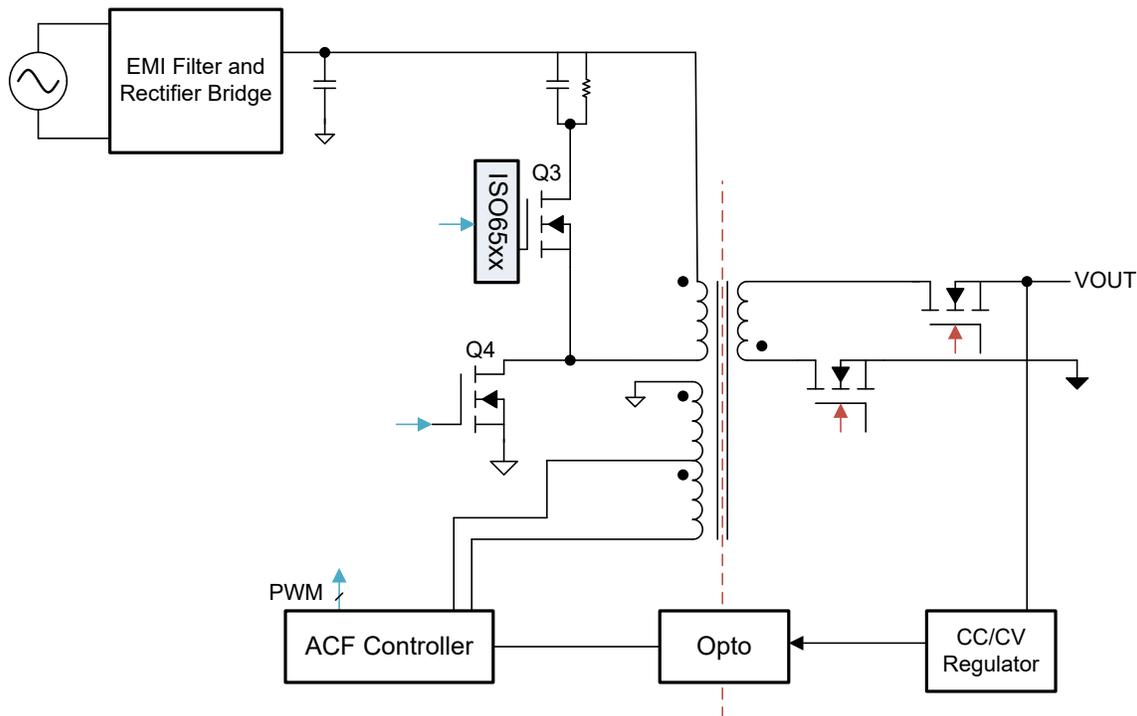


图 2-6. 采用 ISO65xx 的典型有源钳位反激式实现

### 2.3.3 使用 ISO65xx 实现可靠的 PWM 信号

可以在控制器和高侧 FET 之间使用 ISO65xx 等功能隔离器，以确保系统可靠运行。

ISO65xx 系列器件非常适合此应用。ACF 控制器和功率 FET 之间可使用 ISO65xx 之类的功能隔离器来阻断高共模，并在高电压瞬态条件下通过隔离栅准确地传递 PWM 信号。

此应用所需的功能隔离工作电压 ( $V_{\text{IOWM}}$ ) 通常可以为 400V，具体取决于交流市电的电压输入。由于交流市电输入或线路浪涌的变化，可能会在系统中产生高压瞬变，而隔离器需要承受这种瞬变。

共模瞬态抗扰度 (CMTI) 的稳健性对于应对功率 FET 的高电压开关活动 (高达  $100\text{kV}/\mu\text{s}$ ) 也至关重要。

## 2.4 半导体测试和测量

对半导体集成芯片 (IC) 的需求持续增长, 并推动了对更精确和密度更高的半导体测试设备 (如自动测试设备 (ATE)) 的需求增加。ATE 是容纳各种测试板的密集测试设备, 每个测试板都能够提供或测量各种类型的数字测试图形、任意波形、强大的直流电压源、电流源等。高资源密度和缩小电路板尺寸是实现更高测试吞吐量的关键。

例如, ATE 中的一种资源是源测量单元 (SMU) 仪器, 它可以提供电流/电压并测量电流/电压。SMU 资源将两款仪器 (可编程电源和数字万用表) 的功能集于一身。根据具体规格, 某些 SMU 还可以串联堆叠, 如图 2-7 所示, 以达到需要更高偏置电压的半导体技术所要求的更高测试电压。

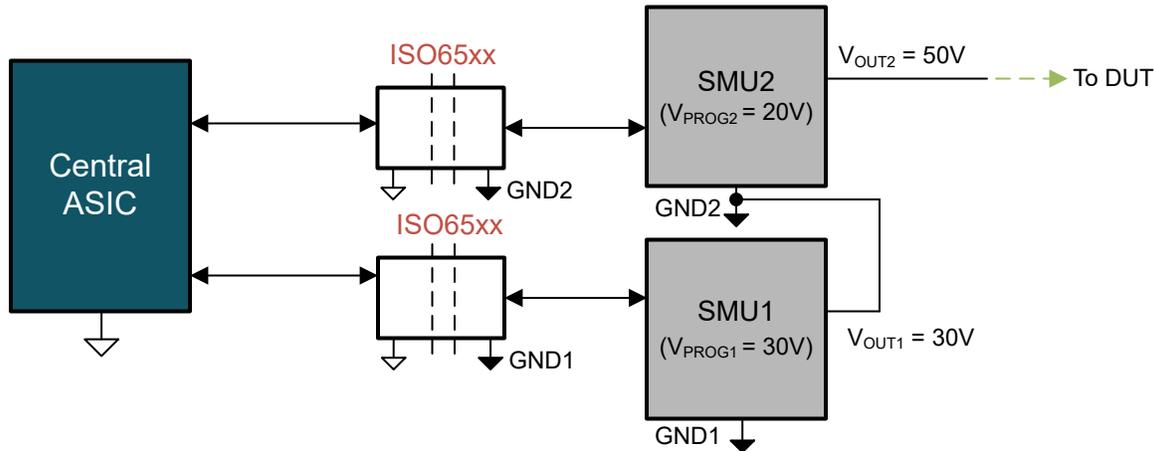


图 2-7. 采用 ISO65xx 的可堆叠隔离源测量单元 (SMU) 设计

ISO65xx 等功能隔离器为空间受限的应用提供了尺寸优势, 常见于测试和测量卡。ISO65xx 可用于中央控制 ASIC 和每个 SMU 卡之间。当多个 SMU 卡叠放时, ISO65xx 会阻断高压共模, 而不会在隔离栅上引入漏电流。通常, 每种资源都具有相对于测试仪接地的最大电压规格, 这决定了设计中所需的功能隔离器工作电压 ( $V_{IOWM}$ )。

## 3 结语

数字隔离器用于业界各类应用中。正如本文所讨论的, 许多应用都使用隔离器来阻断高压共模和抗高压瞬变, 而非用于安全或系统保护。TI 的功能隔离器保留了出色的高电压阻断性能和用于系统功能的共模瞬态抗扰度。在此类应用中, TI 的 ISO65xx 等功能隔离器可用于缩小系统尺寸并更大限度地降低成本。

## 4 参考资料

- 德州仪器 (TI), [利用可靠且性价比高的隔离技术应对高压设计挑战](#)
- 德州仪器 (TI), [了解功能隔离](#)
- 德州仪器 (TI), [GaN 将改变电子设计的四种中压应用](#)
- 德州仪器 (TI), [隔离相关术语](#)
- [ISO6521](#) 产品文件夹和数据表
- [ISO6741](#) 产品文件夹和数据表
- [UCC28780](#) 产品文件夹和数据表

## 重要声明和免责声明

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、某特定用途方面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功能安全、信息安全、监管或其他要求。

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 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/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。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司