

# 集成式隔离偏置模块如何改善功率密度和可靠性

**Mark Allen Esquillo**

Marketing Manager, High-Voltage Power

**Carter Pollan**

Applications Engineer, High-Voltage Power

## 简介

隔离偏置电源是牵引逆变器、光伏逆变器和数据中心电源系统等高性能电力电子设备中的关键构件，但需要在功率密度和开发时间之间进行权衡。隔离 DC/DC 设计依赖分立式变压器和开关元件，这在满足功率密度、可靠性和上市时间要求方面往往会带来挑战。

采用 TI IsoShield™ 封装技术的隔离偏置电源模块，将开关场效应晶体管 (FET)、控制电路和平面隔离变压器组合在紧凑的封装中，以应对这些挑战。本文将阐述这些模块如何缩小电路板面积，并提高对电气和环境干扰的抵御能力，同时简化现代高压系统的设计。

## 更高的功率密度如何缩小解决方案尺寸并满足 EMI 要求

隔离偏置电源的设计通常需要平衡多个约束条件：布板空间、热性能和电气隔离。在电动汽车牵引系统或数据中心电源架构等应用中，必须在高压域（通常  $\geq 800V$ ）和低压控制电路之间进行隔离。

传统设计采用分立式反激转换器拓扑来实现隔离偏置电源。在这些实施方案中，变压器通常是印刷电路板 (PCB) 上最大的元件，限制了可达到的功率密度，并增加了解决方案高度。

采用 IsoShield 技术的隔离偏置电源模块通过将平面变压器直接集成在封装内部（如图 1 所示），并使用多芯片解决方案与专有键合连接，形成极其紧凑的隔离模块，从而实现高功率密度，满足系统设计对优化尺寸的要求。

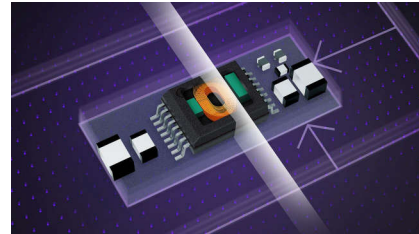


图 1. 具有集成式平面变压器的隔离电源模块

中压 **UCC34141-Q1** 和低压 **UCC33420-Q1** 提供大约 1.5W 的隔离输出功率，前者采用 5.85mm×7.50mm×2.65mm 的小外形集成电路 (SOIC) 封装，后者采用 4mm×5mm×1mm 的超小外形无引线 (WSON) 封装。

通过集成变压器和开关元件，与分立式反激实施方案相比，这些电源模块可将偏置电源解决方案面积减少约 70%，与上一代集成式变压器解决方案相比减少 35% 以上。这些缩减转化为超过 300% 的功率密度提升。

除了缩小占板面积，垂直剖面也显著减小。省去了传统设计中最高的元件—分立式变压器，使模块高度可低至 1mm，这在空间受限的应用中尤为有利。图 2 展示了从分立式反激转换器实施方案（左侧）过渡到全集成解决方案（右侧）所带来的解决方案面积缩减。

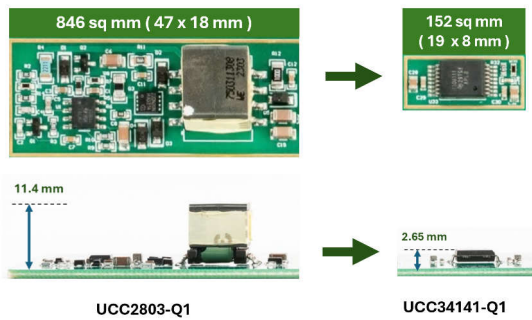


图 2. 分立式解决方案与完全集成的隔离模块的顶视图和侧视图比较

热性能和电磁干扰 (EMI) 通常是高密度解决方案的隐忧。但是, 与先前的模块相比, 经过优化的封装和内部布局可将散热能力提升高达 30%, 同时只需极少的滤波即可保持符合国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 25 和 CISPR 32 标准 (图 3)。

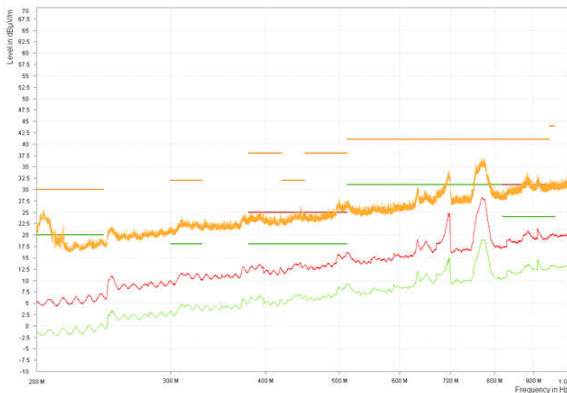


图 3. CISPR 25 辐射发射数据 ( $P_{out} = 1W$ )

为标准隔离偏置电源设计 EMI 解决方案并非易事。平衡昂贵的滤波元件与分立式实施方案独特的滤波需求, 需要经验、时间和测试。集成式解决方案的性质意味着滤波需求更为标准化。TI 利用这一事实, 编制了相关应用手册, 阐述了如何实施能够达到 CISPR 标准的 EMI 解决方案。

图 4 所示的布局结合该解决方案和小尺寸滤波器, 即可符合 CISPR 25 5 级要求。再结合一些布局技巧, 只需添加少量额外的物料清单元件, 就能达到 CISPR 25 5 级标准。在本例中, 我们使用了突出显示的电容器、电感器和铁氧体磁珠。

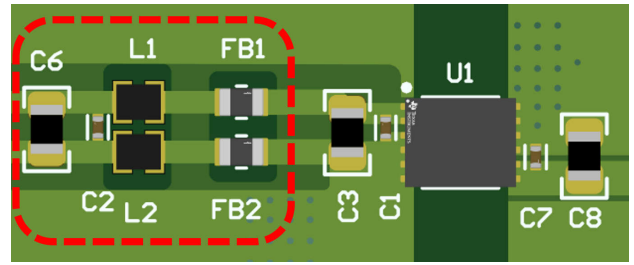


图 4. 小尺寸解决方案与滤波器符合 CISPR 25 5 级要求

一些布局技巧可进一步减少滤波元件的数量。将高频滤波电容器 C1 和 C7 紧靠 IC 放置, 可最大限度地降低高频噪声。去除滤波电感器和铁氧体磁珠下方的覆铜可最大限度地减少通过寄生效应产生的泄漏, 而延长印刷电路板底层的接地平面则可形成法拉第笼。

### 增强系统耐用性和可靠性

大功率系统在电气噪声较大和物理条件恶劣的环境中运行。偏置电源必须在快速开关跳变、强磁场和机械振动的情况下保持稳定工作。采用 IsoShield 技术的集成式偏置电源模块通过多种抗扰机制来应对这些挑战。

### CMTI

现代功率级, 尤其是采用宽带隙器件的功率级, 其快速开关跳变可产生超过每纳秒数百伏的电压转换率。具有较大寄生电容的隔离栅可能会将这些扰动耦合穿过隔离栅。

采用 IsoShield 技术的模块可将一次绕组与二次绕组之间的寄生电容降至 3pF 以下, 实现约 250V/ns 的共模瞬态抗扰度 (CMTI), 从而能够在牵引逆变器或电机驱动器等高压高转换率环境中稳定工作。

与分立式隔离偏置电源相比, 使用集成式解决方案可显著降低 CMTI 测试的风险, 因为工程师已经完成了器件级和系统级测试。使用分立式解决方案时, CMTI 结果可能因应用而异, 而集成式解决方案产生的结果更加一致。

### 辐射抗扰度

附近开关节点产生的高频电磁场会干扰控制电子设备。采用 IsoShield 技术的集成模块能够在宽频率范围内承受强 EMI, 在 10MHz 至 1GHz 频率范围内仍可在超过 100V/m 的电磁场中连续运行。这些模块无需额外的屏蔽或复杂的滤波, 即可满足 CISPR 25 的要求, 并超越了国际电工委员会 61000-4-3 标准规定的限值。

## 磁场抗扰度

牵引逆变器中的汇流条等高电流导体因具有外部磁性结构，可能产生强磁场，这些磁场可能影响基于分立式变压器的电源。采用 IsoShield 技术的模块可在超过 100mT 的磁场中工作，即使靠近高电流电源路径或大型磁性结构（如医学成像系统中的磁性结构），也能确保稳定性能。

## 抗振性

机械振动是汽车和工业环境中常见的挑战。大型分立式变压器会给焊点和 PCB 焊盘带来机械应力，可能导致可靠性问题。与分立式变压器实施方案相比，集成式偏置电源模块的紧凑外形和薄型轮廓可将焊点上的机械扭矩降低 90% 以上，显著提高抗振能力。

## 加快设计周期

选择和设计变压器是隔离电源开发中最具挑战的环节之一。必须平衡众多设计参数，包括绕组配置与布线、漏感与耦合、寄生电容、热特性以及机械封装。定制变压器开发会显著增加设计复杂性并延长产品开发周期。

集成式偏置电源模块将变压器、开关 FET 及辅助无源元件整合在单一器件中，省去了许多此类任务。这种集成减少了元件数量并简化了系统设计。对于服务器电源和电池备用单元，这种设计复杂性的降低可显著加快产品上市速度。

## 结语

随着电动汽车、人工智能驱动的数据中心和可再生能源系统等应用的功率需求持续增长，在日益受限的外形尺寸内提供更高性能的压力也在不断加剧。设计人员不再只针对单一参数进行优化，而是必须同时平衡功率密度、效率、可靠性和开发速度。

基于 IsoShield 技术的集成式隔离偏置电源模块从根本上改变了这种设计范式。通过将变压器、开关元件和隔离栅嵌入紧凑且经过优化的封装中，这些解决方案省去了与分立式实施方案相关的诸多传统权衡，显著缩小了解决方案

尺寸和复杂度，同时改善了电气抗扰度、热性能和可靠性。

同样重要的是，如此高的集成度可以实现更快、更可预测的设计周期。工程师可以重复使用大部分现有架构，同时减少对定制磁性元件的需求及大量验证工作，从而在不影响性能的情况下加速产品上市。

## 关于作者

Mark Allen Esquillo 是高压电源业务部的营销经理，负责高度差异化的隔离栅极驱动器和偏置解决方案。他在产品开发、营销、系统/应用工程和运营方面拥有 30 多年的经验。Mark Allen 拥有日本工业大学机电一体化工程学士学位，以及菲律宾马普阿理工学院电气工程学士学位。

Carter Pollan 是德州仪器 (TI) 的应用工程师，负责为汽车和工业系统中的集成式隔离偏置和隔离栅极驱动器应用提供支持。他取得了杨百翰大学电气工程学士学位。

**重要声明:** 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

IsoShield™ is a trademark of Texas Instruments.  
所有商标均为其各自所有者的财产。

## 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