

## Application Note

# 使用 ISOW6441 轻松通过 CISPR 32 B 类辐射发射标准



Varun Kumar, Himalaya Pramanick

## 1 简介 - 具有集成直流/直流转换器的数字隔离器

工业自动化、电机驱动器及通信接口等现代隔离式系统由在不同电源域中运行的多个子系统组成。为了使这些域协同工作，需要对信号进行隔离来实现良好的信号通信，还需要隔离电源以为次级侧元件供电。

虽然分立式隔离电源设计可能具有成本效益，但这种方法可能更复杂。此方法需要各种外部元件，占用大量 PCB 空间，尤其是体积庞大的外部变压器，不仅在 X 和 Y 维度上而且在 Z 维度（高度）上也占据空间。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 ISOW 产品系列通过在集成式单封装解决方案中组合隔离式直流/直流转换和数字隔离，解决了这些挑战。

ISOW6441 是 ISOW 产品组合中的最新一代，它由数字隔离器组成，将包括电源变压器在内的隔离直流/直流转换器集成到单个 SOIC 封装中，如图 1-1 所示。集成的直流/直流转换器为器件的次级（隔离）侧生成隔离电源。通过在一个封装中集成隔离式直流/直流转换器与电源变压器，该器件成为非常紧凑的设计。与分立式设计相比，该器件还显著降低了设计整体电源过程中的复杂性。此类器件广泛用于许多工业应用，其中包括 PLC、通信模块、工业运输、医疗仪器和能量计。

ISOW6441 中直流/直流转换器的开关频率在 60MHz 左右，可减小电源变压器的尺寸并能够集成在小型 SOIC 封装中。在此开关频率下，开关转换器的频谱分量可能会受到某些电磁干扰 (EMI) 标准（如 CISPR 32）的监管限制。

在大多数集成式直流/直流转换器解决方案器件即使经过大量系统级修复也需要克服固有挑战的市场中（即满足严格的国际和 OEM 排放标准要求），ISOW6441 凭借使用简单 SMD 元件且没有复杂布局连接件的超小型 2 层 PCB 满足相同的辐射要求而脱颖而出，因此成为最具成本效益的解决方案。本文档将详细讨论如何通过 ISOW6441 实现具有成本效益的简单 2 层 PCB，满足严格的 CISPR32 B 类限制

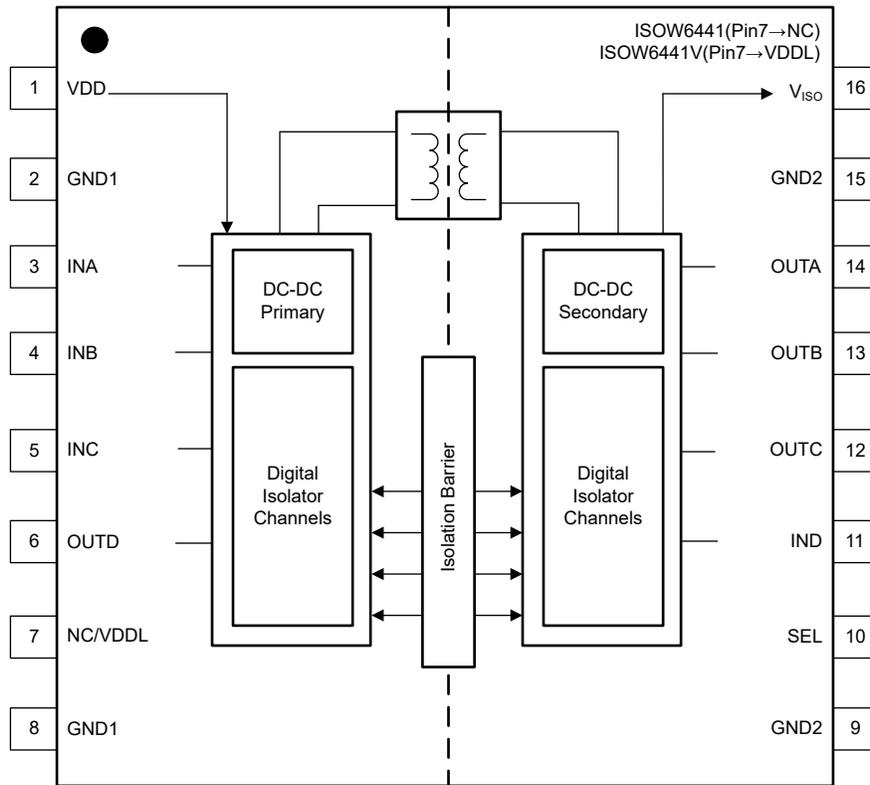


图 1-1. ISOW6441 内部方框图

## 2 CISPR 32 辐射发射标准概述

CISPR 32 是面向多媒体设备 (MME) 的国际无线电干扰标准，规定了为无线电频谱提供足够保护级别的要求，以及维持测量再现性和结果重复性的规程。大多数工业终端设备认证机构都规定，终端设备符合 CISPR 32 标准是其通过相关终端设备标准认证所需满足的要求之一。因此，产品设计人员在设计产品时必须考虑这些 EMC 要求。

该标准定义了与两种终端用户环境相关联的两类设备。

- B 类要求旨在为住宅环境中的广播服务设备提供足够的保护。主要用于住宅环境的设备应符合 B 类限制。B 类限制与下面提到的 A 类相比更严格
- A 类要求适用于所有非 B 类设备；A 类设备应符合更宽松的 A 类限制。

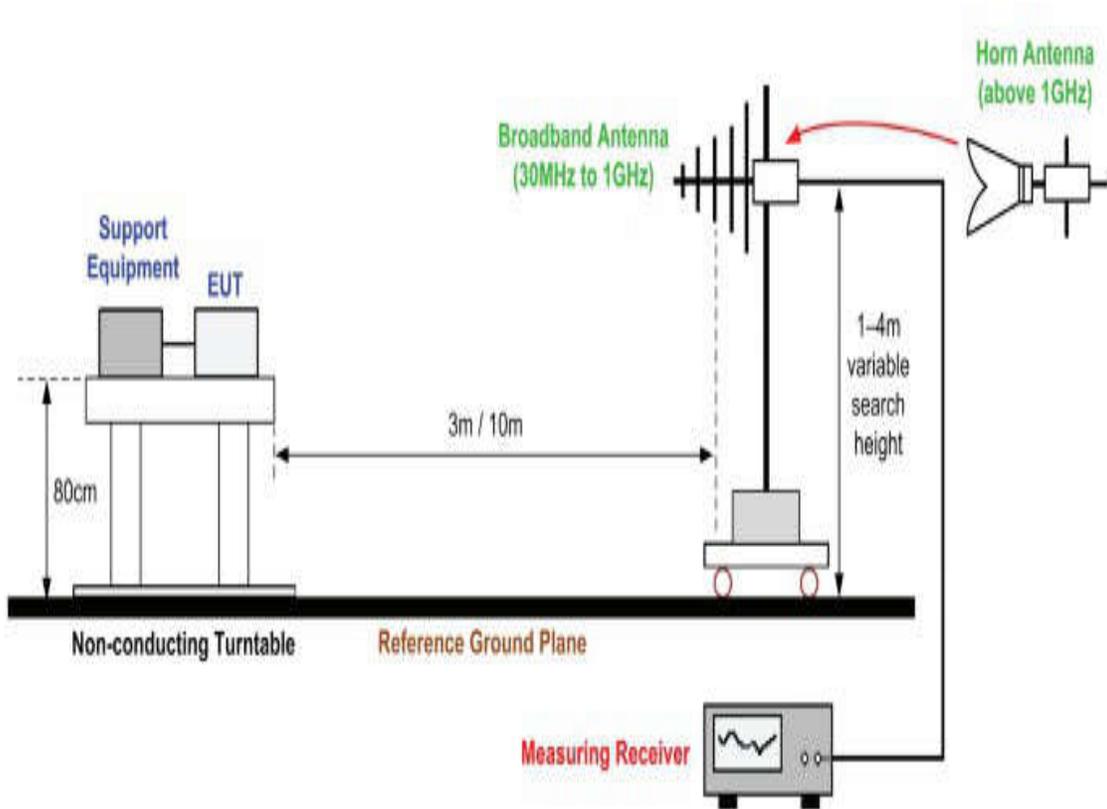


图 2-1. CISPR32 测试设置

CISPR32 指定了一个放置在消声室中的非导电转盘上的被测设备 (EUT)，如图 2-1 所示。EUT 放置在距离接收天线 10 米和 3 米的位置，分别在 30MHz-1GHz 和 1GHz-6GHz 范围内。天线配置为水平极化和垂直极化，对于 30MHz 1GHz 扫描，高度在 1m 至 4m 之间调整，对于 1GHz 至 6GHz 扫描，高度在 1m 至 2m 之间调整。对于每个天线高度和极化方式，转盘上的 EUT 会从 0 度旋转到 360 度，以找到最大场强读数。记录了 30MHz-1GHz 范围和 1GHz-6GHz 范围内不同极化和高度之间的最差情况发射读数。

### 3 了解辐射发射源

给定 PCB 上的开关隔离器以共模电流环路或差模电流环路的形式发射电磁辐射，如图 3-1 所示。直流/直流转换器中的快速瞬态通过 PCB 上隔离接地之间的寄生电容耦合，在隔离系统的 1 侧和 2 侧之间产生共模电流。由于两侧完全隔离，电流通过空气和板级寄生电容形成一个大回路。这种大电流回路是隔离系统中辐射发射的主要因素。理解此发射机制的另一种方法是，电路板的两个隔离部分形成一个偶极天线发射器。由于输入电源 (VDD) 和隔离输出电源 (VISO) 上的高电压纹波，可以形成差模电流环路。

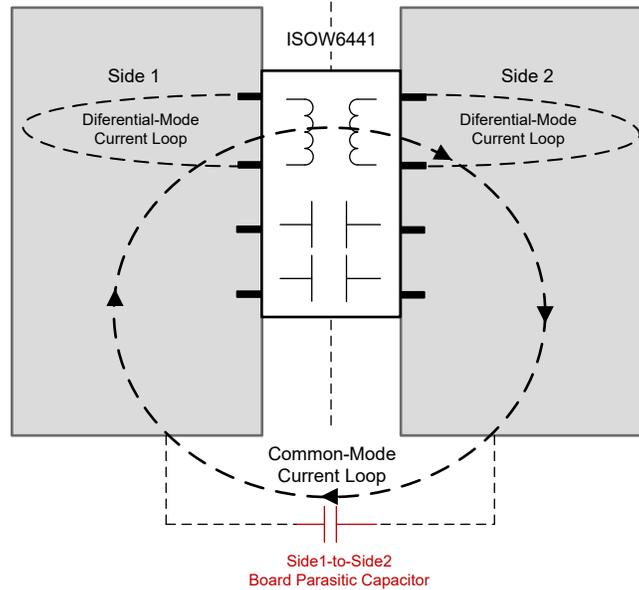


图 3-1. 在 PCB 上形成共模和差模电流环路

## 4 使用 ISOW6441 实现更低辐射发射

ISOW6441 是专门为满足 CISPR32 B 类标准而设计的，使用具有成本效益的两层板，布局简单，外部元件最少，裕度超过 10dB。TI 在 ISOW6441 的设计和布局中使用获得专利的对称设计架构，以实现低辐射，这有助于实现市场上出色的性价比。

ISOW6441 器件使用高频开关来补偿低变压器线圈电感，还可为电源转换器提供占空比，从而在保持稳压的同时提供所需的输出直流负载。每当转换器开启时，输入电源  $V_{DD}$  会出现大电流消耗。该电流具有低频成分（大致与闭环调节带宽成正比），并且在直流/直流转换器的开关频率 (60MHz) 和谐波下具有高频成分。

为了实现 ISOW6441 的最佳辐射性能，需要在设计的 PCB 上采取以下措施，以有效地衰减电源噪声，如图 4-1 所示。

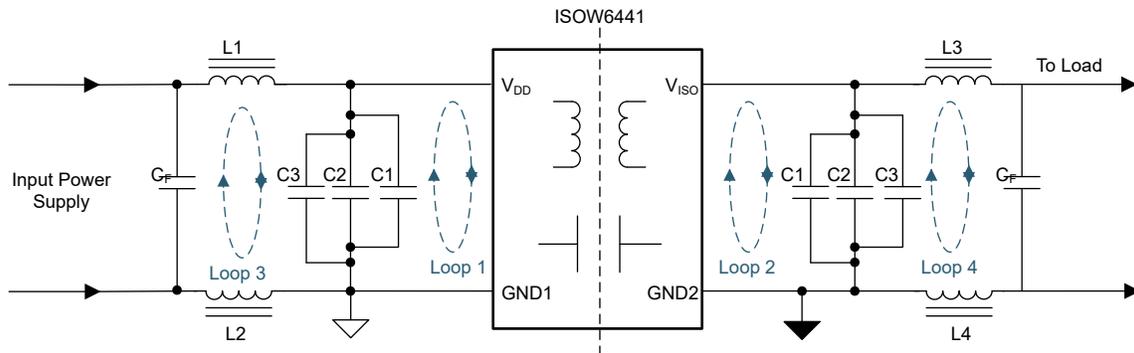


图 4-1. 电源去耦电容器及铁氧体磁珠

### 1. 电源去耦电容器 - 对于 ISOW6441 必须具备

去耦电容器在滤除差分噪声以及将电压波动控制在最小值方面发挥着重要作用。还为 ISOW6441 中直流/直流转换器的各种功能块提供所需的瞬时峰值电流。ISOW6441 需要一组不同电容器 (  $C1 = 0.1\mu\text{F}$ 、 $C2 = 1\mu\text{F}$ 、 $C3 = 10\mu\text{F}$  ) 的输入和输出电容器，以滤除大量高频内容，并防止传播到输入电源布线和输出负载。将这些电容器尽可能靠近引脚放置对于限制环路 1 及环路 2 的面积至关重要。 $0.1\mu\text{F}$  电容器 ( $C1$ ) 必须放置在距离直流/直流转换器电源引脚 (  $V_{DD}/GND1$  和  $V_{ISO}/GND2$  ) 2mm 的范围内。对于 10MHz 至 100MHz 的频率范围，最好使用具有超低等效串联电阻 (ESR) 的电容器。ISOW6441 还要求在  $0.01\mu\text{F}$  电容器之后放置至少  $10\mu\text{F}$  的大容量电容器。在  $10\mu\text{F}$  大容量电容器之前使用一个可选的  $1\mu\text{F}$  电容器，可实现更好的噪声滤除效果。

**重要提示：**所有这些电容器应与 ISOW6441 器件置于 PCB 的同一层。图 4-2 所示为在 ISOW6441DWEEVM 上放置建议的去耦电容器的 PCB 布局示例。

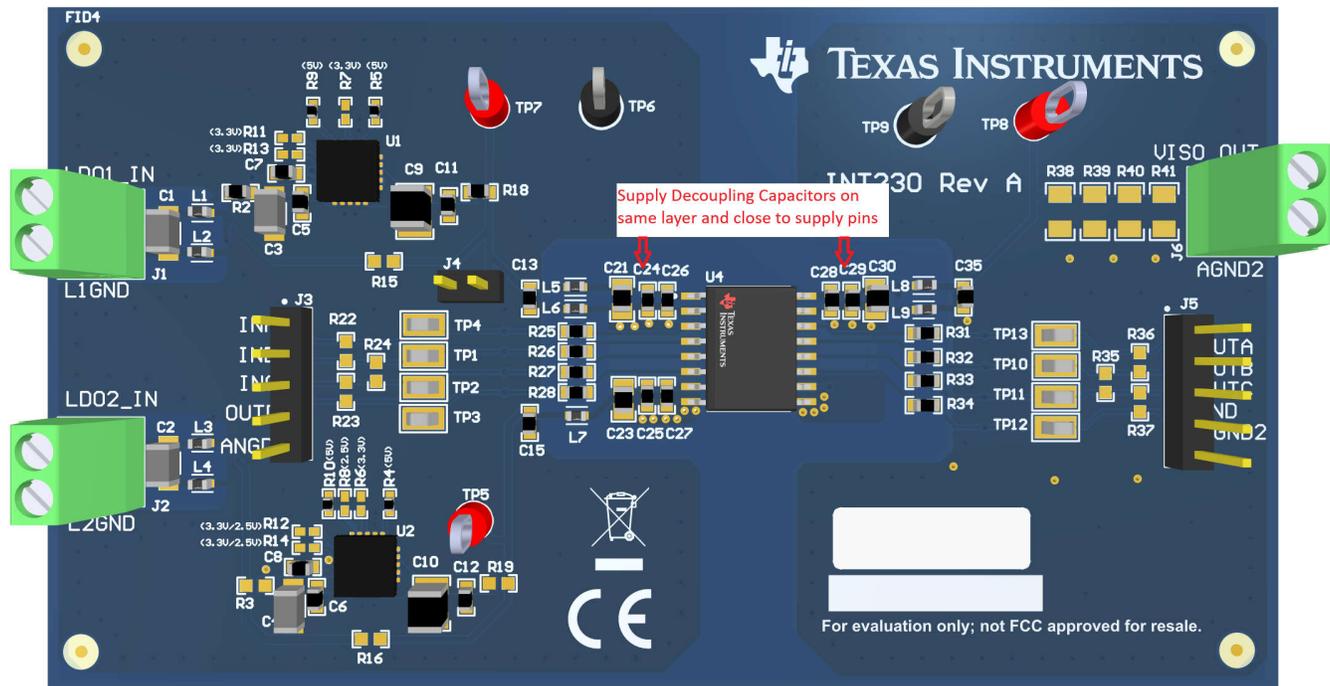


图 4-2. ISOW6441DWEVM 上 ISOW6441 去耦电容器放置示例

## 2. 采用铁氧体磁珠时的进一步改良

尽管电源去耦电容器负责减少靠近器件的环路 1 和环路 2 电流、但可以将额外的铁氧体磁珠 (FB) 与电容器 ( $C_F$ ) 一起使用, 以通过减少环路 3 和环路 4 电流来抑制 VDD-GND1 和 VISO-GND2 电源布线上的高频噪声, 从而在更大的 PCB 面积上进一步分散。如图 4-1 所示, VDD-GND1 的 FB L1-L2 和 VISO-GND2 的 L3-L4 提供高衰减来选择频率, 从而阻止开关噪声扩散到 PCB 中的较大布线中。选择这些 FB 可在开关频率及谐波频率 (例如 BLM18HE152SH1D) 下提供超高阻抗 ( $1k\Omega$ )。

为了通过使用 FB 获得有效的结果, 需要保持最小的禁止区域 (KOZ)。确保 FB 前后的所有电源平面和接地平面在所有的 PCB 层中保持分离。且分隔空间大于 FB 的长度。这确保不存在因各平面之间电容耦合而形成的替代电流回路, 这些回路会绕过 FB。

若需了解所讨论的为实现 ISOW6441 最佳辐射性能而制定的所有 PCB 设计措施, 请参阅 [ISOW6441DWEVM](#)。

## 5 辐射发射测试指南

电路板上的天线是产生辐射的主要原因。用于为系统供电的长电缆或用于测量任何参数的探头，会起到天线的作用并产生更高的发射读数。确保用于排放的设置与最终的系统运行条件非常接近。为此，确保系统进出电缆尽可能短或符合实际的系统使用条件。在 EMI 测试期间，也必须确保最终计划用于最终系统的电路板进行直接或电容连接或对保护接地 (PE) 进行金属屏蔽。

如果电源远离 DUT 且使用长导线连接，则建议在 DUT 附近使用共模扼流圈 (CMC)，以免长导线不必要地加剧辐射。在线缆上使用铁氧体磁芯钳位滤波器代替 CMC，可最大限度地减少其对发射测量的影响。通过使用这些滤波器，能够测量实际设置的发射，并消除长电缆的影响。将电路板上所需的任何额外元件 (例如负载电阻器) 直接焊接到电路板上，而不是使用长导线将它们连接到电路板上。

避免此类长导线的另一种方法是，如果受试设备 (EUT) 是直流供电的，则使用具有非常短导线的电池为 EUT 供电。图 5-1 所示为评估模块 ISOW6441DWEEVM 与 9V 供电碱性电池使用很短的导线连接。

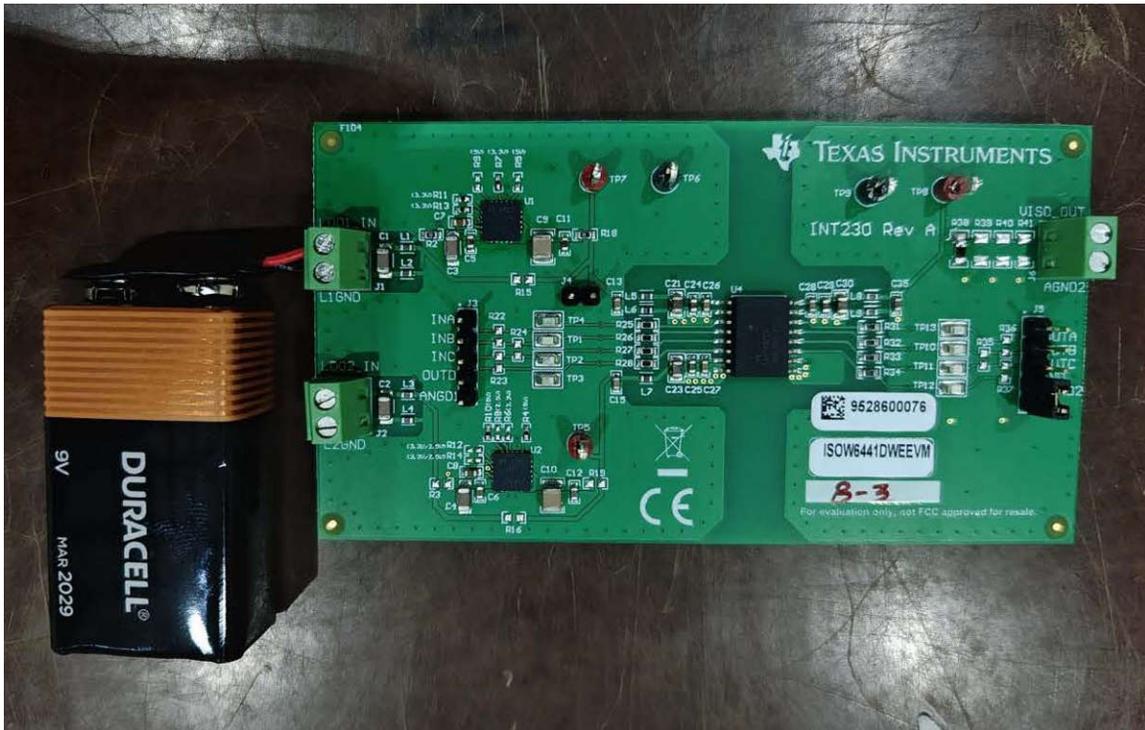


图 5-1. 使用电池的 ISOW6441DWEEVM 发射测试设置

尽管通常使用峰值检测器来快速获得测量结果，但 CISPR 32 标准规定将辐射发射限值作为准峰值限值。器件 ISOW6441 使用扩频时钟在小频率波段内改变开关频率，而不是将所有功率集中在一个频率上。当进行准峰值扫描时，这类方法可带来明显更好的结果。

首先进行峰值检测器测量，找出最差情况下测量的频率。然后，在选定的最差频率下进行准峰值测量，估算相对于 CISPR 32 准峰值限制线的真实裕度。

## 6 辐射发射测试结果

表 6-1 显示了 ISOW6441DWEEVM CISPR 32 测试结果，并且图 5-1 显示了适用于所有 VDD 和 VISO 电压配置的测试设置，以及每种配置的最大 ILOAD 条件下的测试设置。结果清楚地表明，即使在峰值发射测量中，ISOW6441 的辐射发射也与 B 级限值线有 >10dB 的裕度，并且完全符合 CISPR 32 B 类要求。

**表 6-1. CISPR32 B 类辐射发射测试的器件配置和结果**

	V <sub>DD</sub> (V)	V <sub>ISO</sub> (V)	V <sub>ISO</sub> 负载 (mA)	频率范围	发射频谱结果
测试 1	5	5	110	30MHz-1GHz	<a href="#">图 6-1</a>
测试 2	5	5	110	1GHz 至 6GHz	<a href="#">图 6-2</a>
测试 3	5	3.3	140	30MHz-1GHz	<a href="#">图 6-3</a>
测试-4	5	3.3	140	1GHz 至 6GHz	<a href="#">图 6-4</a>
测试-5	3.3	3.3	60	30MHz-1GHz	<a href="#">图 6-5</a>
测试-6	3.3	3.3	60	1GHz 至 6GHz	<a href="#">图 6-6</a>

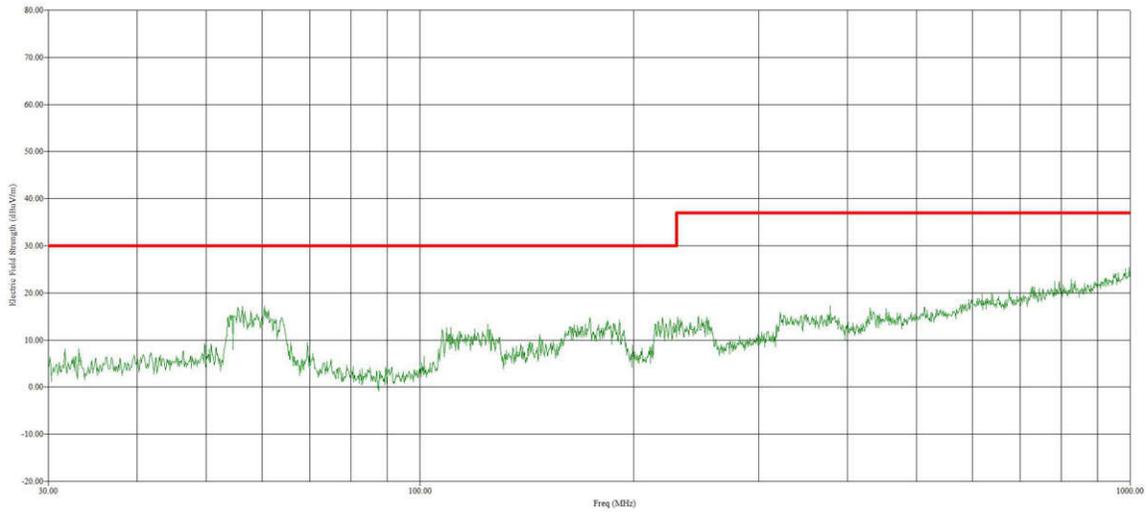


图 6-1. 采用 5V 输入、5V 输出、110mA 负载 ( 30MHz 至 1GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

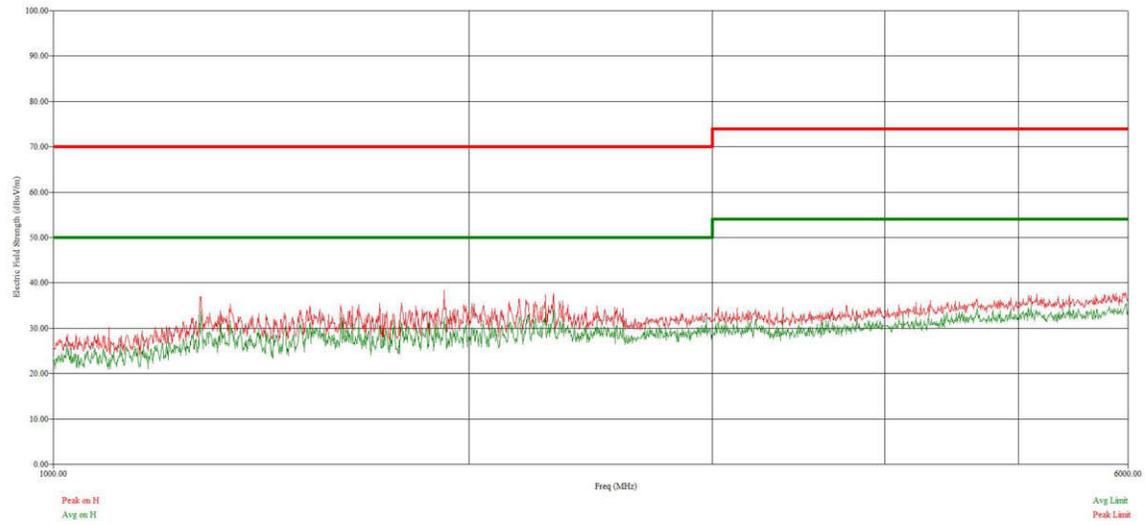


图 6-2. 采用 5V 输入、5V 输出、110mA 负载 ( 1GHz 至 6GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

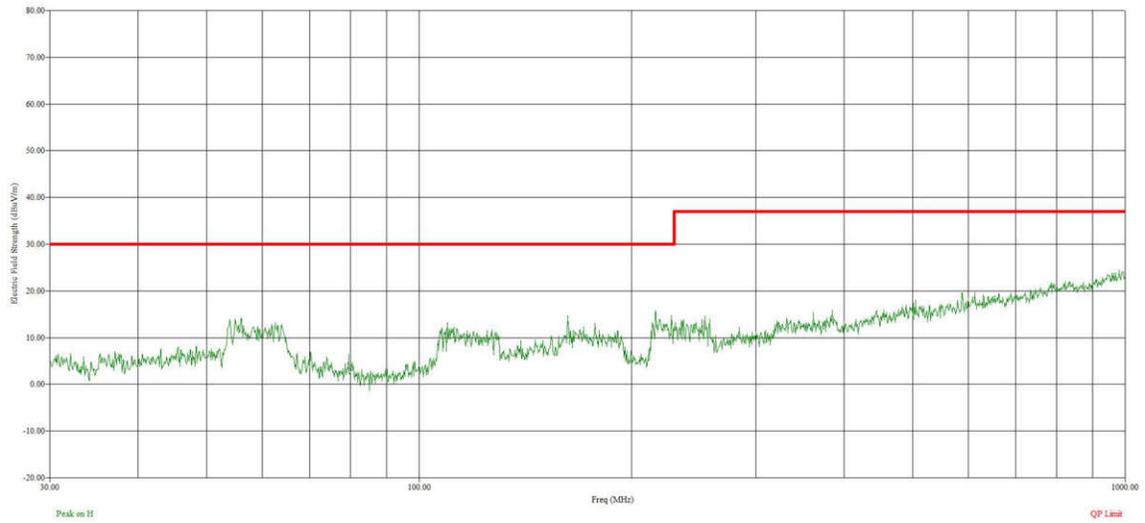


图 6-3. 采用 5V 输入、3.3V 输出、140mA 负载 ( 30MHz 至 1GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

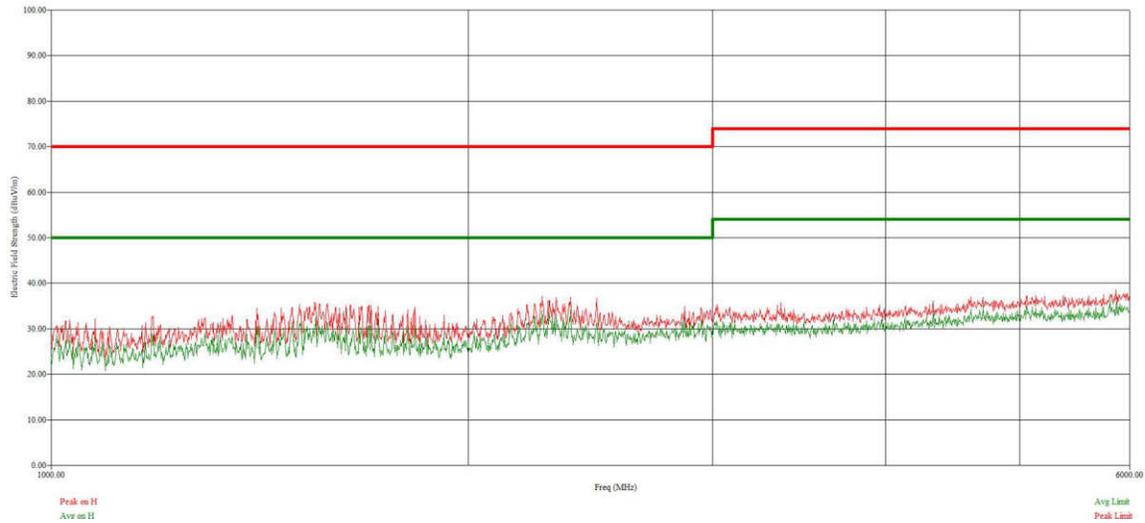


图 6-4. 采用 5V 输入、3.3V 输出、140mA 负载 ( 1GHz 至 6GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

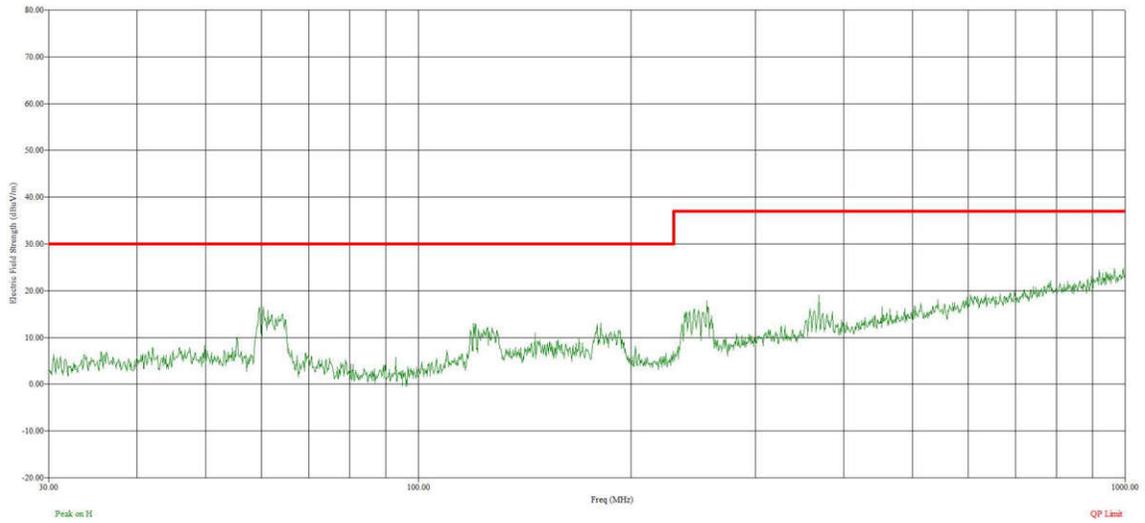


图 6-5. 采用 3.3V 输入、3.3V 输出、60mA 负载 ( 30MHz 至 1GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

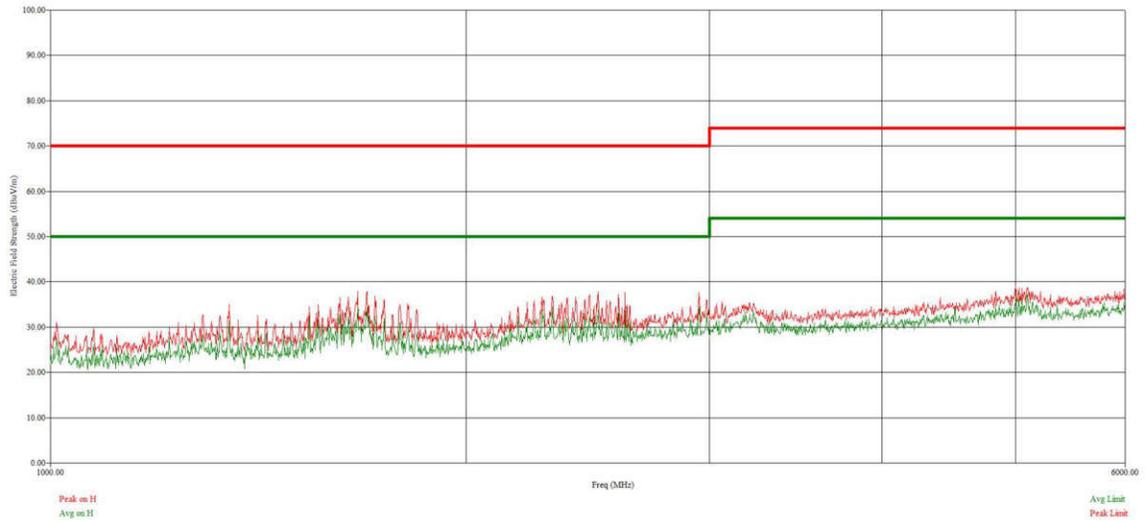


图 6-6. 采用 3.3V 输入、3.3V 输出、60mA 负载 ( 1GHz 至 6GHz ) 的 CISPR32 B 类辐射发射结果

## 7 结语

TI 最新一代集成直流/直流转换器的数字隔离器解决方案 ISOW6441 的转换器开关频率在 60MHz 范围内，以保持变压器的小型化。这种高频开关会导致集成转换器在 CISPR 32 频谱频带中出现辐射发射。较大的 PCB 和长连接电缆也会加剧集成式直流/直流转换器的隔离式电源解决方案的整体辐射。凭借获得专利的对称设计架构和扩频时钟，ISOW6441 优化了辐射发射性能。为了进一步改善排放，请遵循建议的去耦电容器和铁氧体磁珠的放置指南，以满足 CISPR32 B 类限制器，在输入/输出电压配置的满载能力下具有 >10dB 的裕度。上述建议可减少较大 PCB 和长电缆对辐射发射结果的影响，并使终端设备符合 CISPR 32 标准发射限制。

## 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