

Sanjay Pithadia

摘要

多参数患者监护仪测量生命体征并使用隔离式模块来确保患者安全。这些模块体积小，因为它们被插入到主监护仪中并支持最高 5kV 的隔离电压。数据和电源分别使用数字隔离器和隔离式电源进行隔离。此应用报告讨论了用于隔离式电源和数据的不同拓扑。本文深入探讨了与隔离式电源和数据相关的关键设计挑战，例如输出调节、反馈机制、输入电压范围、输出功率和尺寸考虑以及合适的电源架构。最后，它基于所有这些不同的参数对各种拓扑进行了比较。

内容

1 引言	2
2 反激式拓扑	4
3 初级侧调节 (PSR) 反激式拓扑	5
4 开环推挽式拓扑	6
5 闭环推挽式拓扑	7
6 集成的隔离式电源解决方案	8
7 用单个器件实现数据和电源隔离	10
8 总结	11
9 修订历史记录	11

插图清单

图 1-1. 显示模块如何连接到主监护仪的多参数患者监护仪	2
图 1-2. 隔离的 ECG 模块方框图 (显示隔离)	3
图 2-1. 传统反激式反馈机制 (a) 使用光耦合器 (b) 使用三级绕组	4
图 3-1. 展示极少总元件数和单个变压器的 PSR 反激式配置	5
图 4-1. 使用 SN6505 的开环推挽式拓扑	6
图 4-2. 带有脉冲变压器的 SN6505A 的输出调节 (Wurth 750315240)	6
图 5-1. 使用 LM25037 的闭环推挽式拓扑	7
图 6-1. 展示低元件数的 UCC12050 原理图	8
图 6-2. UCC12050 展示出比竞争对手提供的集成式器件更低的辐射	9
图 7-1. 分立式和集成式解决方案比较	10
图 7-2. (A) SN6505 + 数字隔离器 (B) UCC12050 + 数字隔离器 (底层) 和 (C) ISOW7841 的布局尺寸比较	10

表格清单

表 1-1. 典型隔离式电源的技术规范	3
表 8-1. 隔离式电源拓扑的比较	11

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

患者安全是全球健康优先事项。回顾 2002 年出台的 WHA55.18 号决议（敦促成员国“尽可能密切关注患者安全问题，并建立和加强以科学为基础的系统，这对于改善患者安全和卫生保健质量非常必要”），第七十二届世界卫生组织大会 (WHA72) 于 2019 年 5 月通过了 WHA72.6，这是一项关于“全球患者安全行动”的决议。（来源：<https://www.who.int/patientsafety/en/>）

多参数患者监护仪可测量人体生命体征，如心电图 (ECG)、血氧浓度 (% SpO₂)、血压、温度等（请参阅图 1-1）。

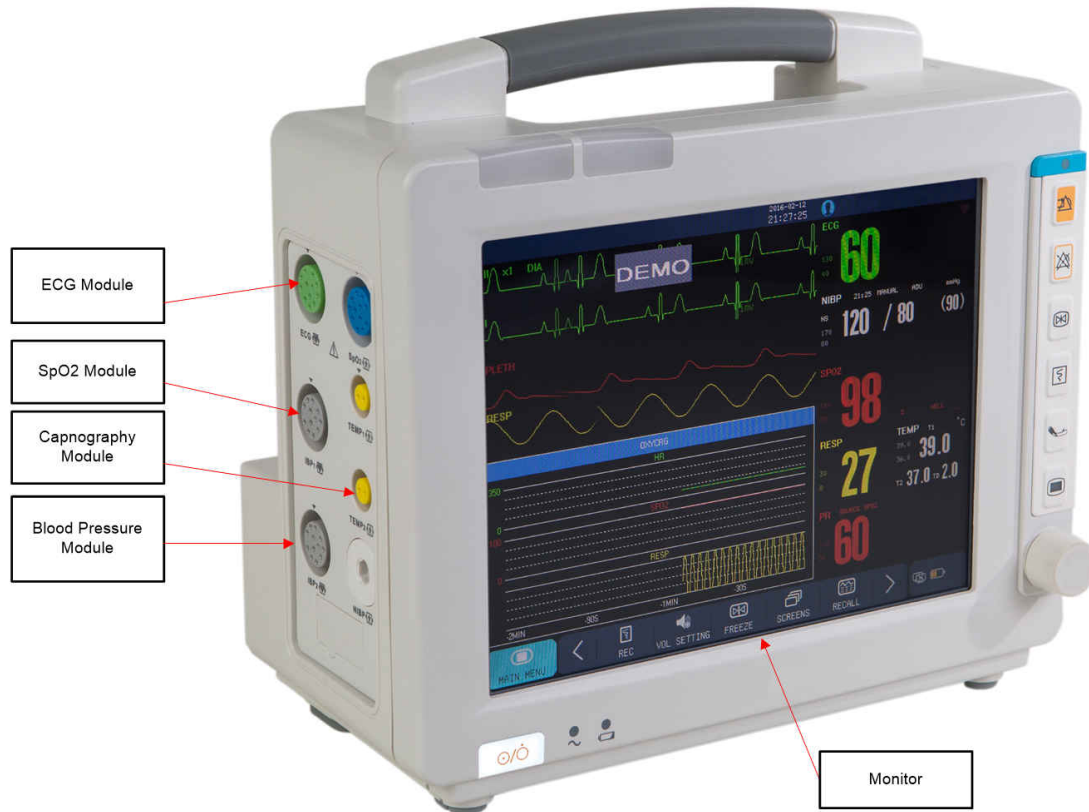


图 1-1. 显示模块如何连接到主监护仪的多参数患者监护仪

图 1-2 所示为 ECG 模块的通用方框图。它强调了模拟电路与数字处理单元是隔离的。医疗标准 (如 IEC60601-1) 规定, 多参数患者监护仪需要具有最高 5kV 的隔离电压以隔离接地, 防止任何接地回路电流, 并防止从患者身体流出泄漏电流。在隔离数据的同时, 它还需要与电源相同的隔离级别。

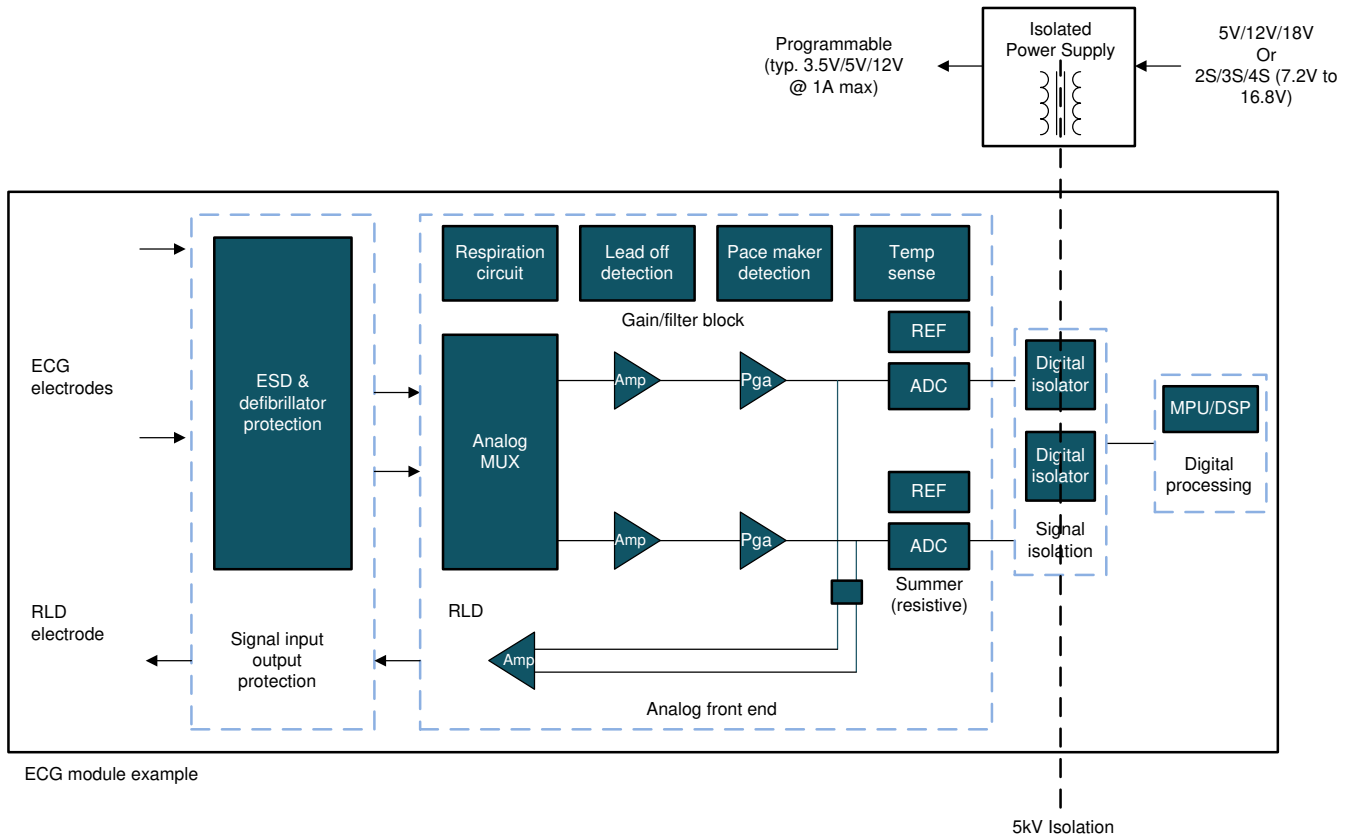


图 1-2. 隔离的 ECG 模块方框图 (显示隔离)

数据隔离可使用简单的数字隔离器来完成, 但隔离电源拓扑需要进行仔细分析。表 1-1 所示为此类隔离电源的典型规范。

表 1-1. 典型隔离式电源的技术规范

特性	值
输入电压范围	选项 - 1 : 来自交流/直流电源 (3.3V 至 24V)
	选项 - 2 : 来自 1S-4S 电池 (3.7V 至 16V)
输出电压	选项 - 1 : 3.3V 或 5V
	选项 - 2 : 3.5V 或 5.5V, 后接低压差调节器 (LDO)
输出功率	通常为 5-7 瓦
隔离	5kV 及以上

此应用报告深入探讨了与隔离式电源和数据相关的关键设计挑战, 例如输出调节、反馈机制、输入电压范围、输出功率和尺寸考虑以及合适的电源架构, 如下所示:

- 传统和 PSR 反激式 - 宽输入电压 (V_{in}) 和可调输出功率 (P_{out})
- 开环和闭环推挽式 - 反馈机制和输出调节
- 集成隔离式电源和数据 - 具有有限 P_{out} 的外形受限设计

2 反激式拓扑

典型的传统反激式转换器是降压/升压转换器，其中电感器分开以形成变压器，因此电压比成倍增加，具有额外的隔离优势。它可生成低于或高于输入电压的电压，并且轻松支持最高 10 瓦的输出功率水平（取决于变压器设计）。为了将隔离式输出信息返回到反激式控制器（又名 PWM 控制器）器件以准确调节输出，使用基于光耦合器的电路或三级绕组反馈输出，如图 2-1 中所示。在这种情况下，元件数量相当多而解决方案尺寸相当大。事实上，在基于光耦合器的反馈中，可靠性会是一个问题，额外的绕组（对于基于三级绕组的反馈）会使变压器成本增加。

为了实现卓越性能，应对反激式变压器进行合理设计。变压器应良好耦合且具有低漏电感，从而提高效率、实现更优调节（尤其是在具有多输出的情况下）。从初级到次级的寄生电容也必须受到限制，以防止过度的电磁干扰 (EMI)。

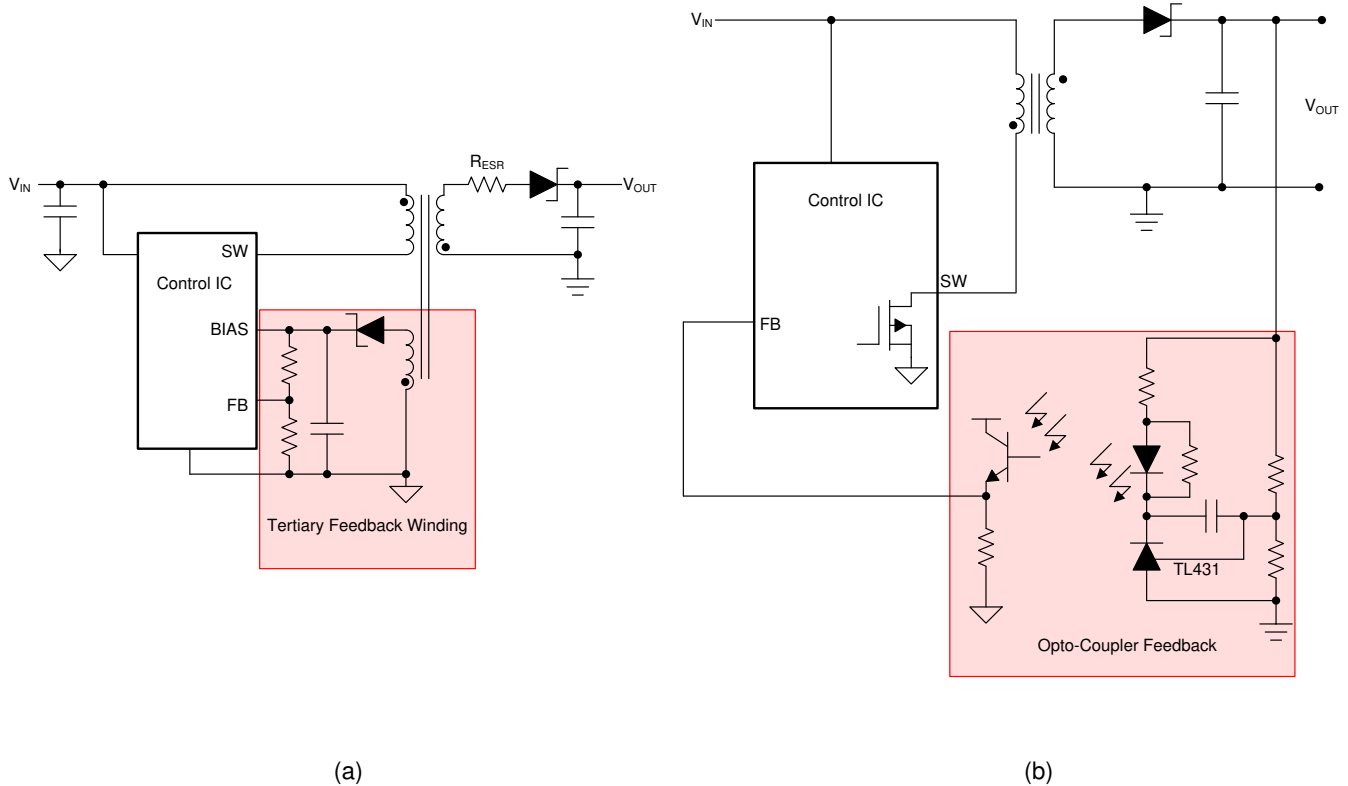


图 2-1. 传统反激式反馈机制 (a) 使用光耦合器 (b) 使用三级绕组

3 初级侧调节 (PSR) 反激式拓扑

PSR 反激式拓扑不需要光耦合器或三级绕组，并利用由磁化电感和开关节点电容引起的谐振环特性实现极其严格的负载调节。与传统的反激式拓扑相比，它根据负载情况在非连续导通模式 (DCM) 或边界导通模式 (BCM) 下运行。反过来，它消除了变压器直流电阻 (DCR) 或次级侧二极管的任何误差，以实现严格的调节。

与连续导通模式 (CCM) 相比，PSR 反激式拓扑在 BCM/DCM 模式下工作，具有更低的电感（在更高的峰峰值纹波电流下）和更低的开关损耗，因为 MOSFET 导通和二极管关断在零电流下发生。然而，PSR 反激式拓扑中较高的初级和次级侧 RMS 电流会导致磁体和半导体中的传导损耗。

图 3-1 所示为使用 LM5180 器件的 PSR 反激式拓扑的示例原理图。它展示了变压器如何实现只有两个绕组的方案，并且与传统反激式拓扑相比，元件总数也更少。

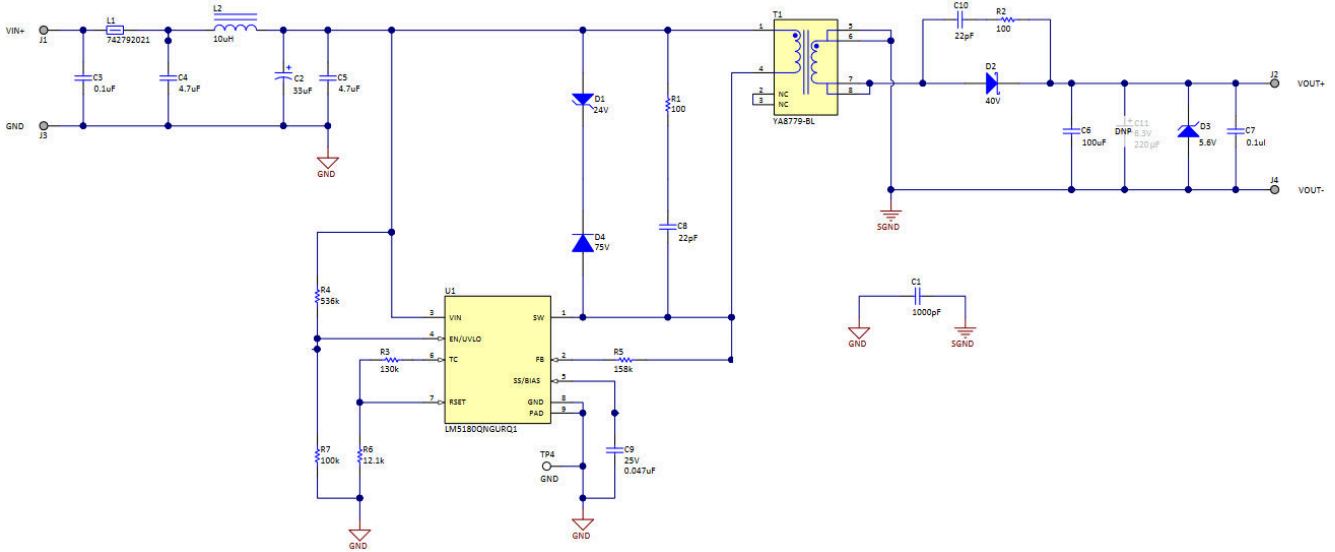


图 3-1. 展示极少总元件数和单个变压器的 PSR 反激式配置

4 开环推挽式拓扑

推挽式变压器驱动器是一种适用于低噪声、小型隔离式电源的常用解决方案。它由具有严格电压调节功能的输入轨供电，开环运行，固定占空比 50%。例如，SN6505 是一款低噪声、低 EMI 推挽式变压器驱动器，专为外形小巧的隔离式电源而设计。它通过直流电源来驱动中间抽头的变压器。它通过输出开关电压的压摆率控制和展频时钟 (SSC) 实现超低噪声和 EMI。SN6505 具有软启动特性，可防止大负载电容器在上电过程中出现高浪涌电流。

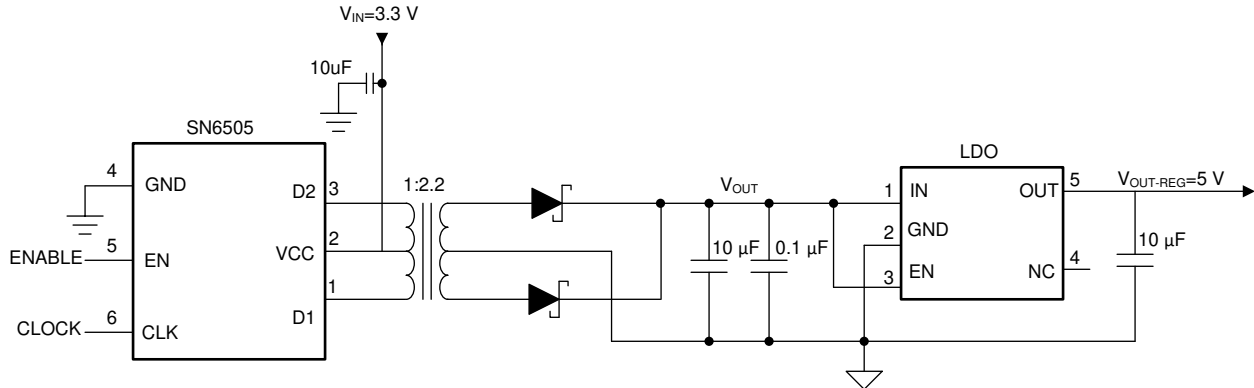


图 4-1. 使用 SN6505 的开环推挽式拓扑

图 4-1 所示为使用 SN6505 的开环推挽式拓扑的原理图。此拓扑省去了反馈环路，从而简化了设计。推挽式变压器具有较低的初级-次级电容，与反激式转换器相比，能降低共模噪声。另外，推挽式拓扑能更有效地利用变压器铁芯的磁化电流，从而实现比传统反激式转换器更小的磁解决方案。总元件数也非常少（接近 6 个，不包括图 4-1 中的输出 LDO）。

变压器驱动器（不带任何反馈）不支持宽输入电压范围，因此需要严格调节输入电压。作为开环拓扑，输出调节不可避免地会出现问题。SN6505 的典型负载调节如图 4-2 中所示。根据要求，可在输出端使用 LDO 以实现调节输出。

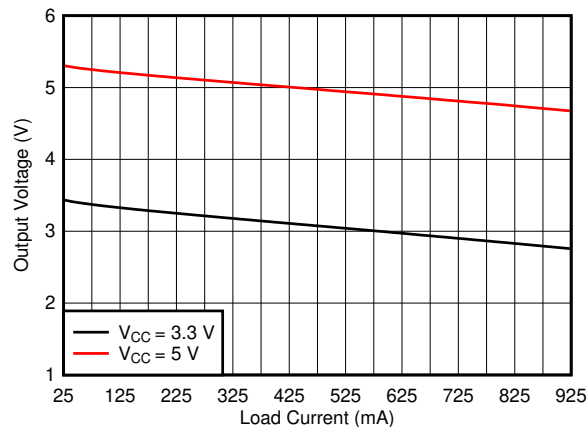


图 4-2. 带有脉冲变压器的 SN6505A 的输出调节 (Würth 750315240)

5 闭环推挽式拓扑

开环推挽式拓扑中没有闭环反馈模式，因而满足输出电压调节要求可能具有挑战性。对于更高的功率水平和更严格的输出调节，也可使用闭环推挽式拓扑。与传统的反激式类似，这种拓扑需要一种使用光耦合器的隔离式反馈模式。使用 LM25037 的此类拓扑的示例原理图如图 5-1 中所示。尽管此处的功率水平约为 5W，但与使用 SN6505 的开环推挽式拓扑相比，整体元件数量非常多，尺寸非常庞大。

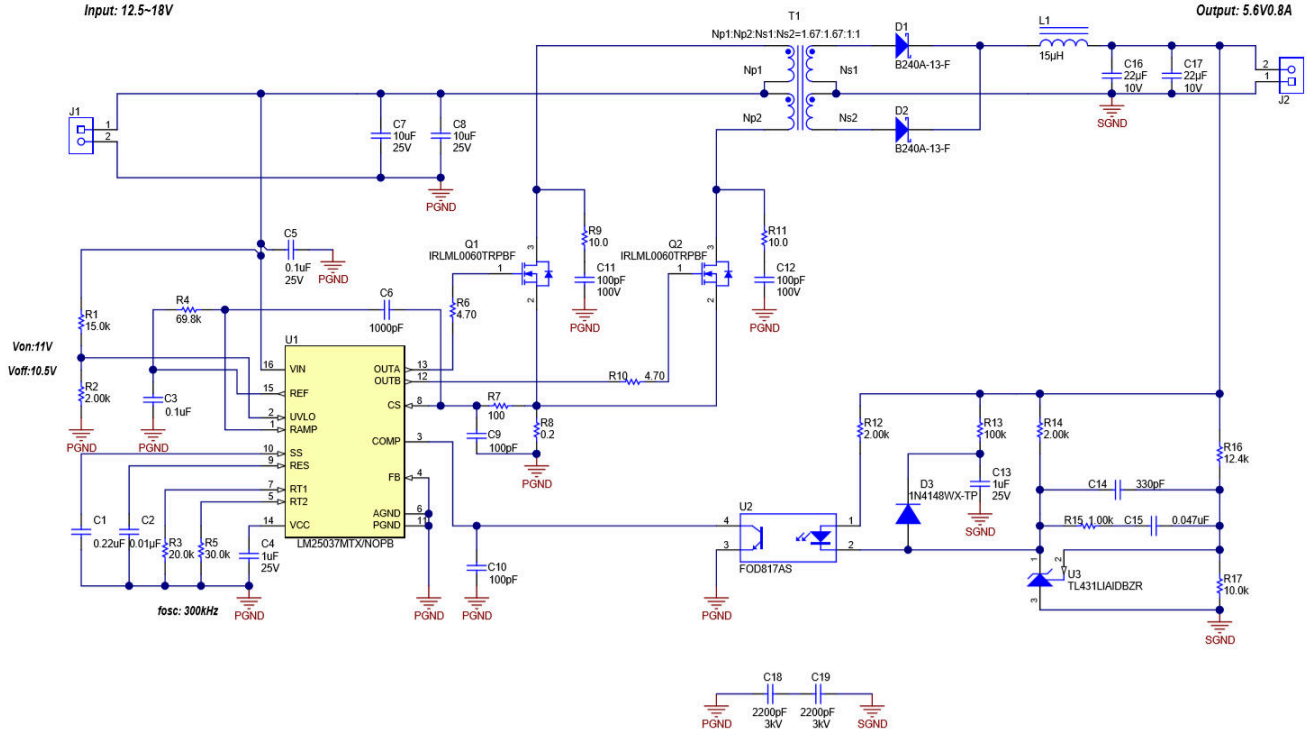


图 5-1. 使用 LM25037 的闭环推挽式拓扑

6 集成的隔离式电源解决方案

生成隔离式电源的传统方法是在反激式、Fly-Buck 或推挽式拓扑中使用直流/直流转换器来驱动变压器。次级侧的脉动信号经整流和滤波后生成隔离式直流电源。基于光耦合器的初级侧反馈实现了线路和负载调节。在某些情况下，当直流/直流转换器以开环配置运行时，LDO 用于对转换器的输出进行后置调节。这种分立式方法的缺点是，完整的解决方案（变压器和其它组件）在电路板上占用了大量的空间。此外，设计一个稳定且高效的隔离式电源也具有挑战性。

近期的各种解决方案都将直流/直流转换器与微型变压器以及信号隔离通道集成在一个封装中。此类解决方案解决了系统工程师面临的几个设计难题，包括：

- 减少电路板面积：集成式解决方案的第一个优势是减少了电路板面积。功率级、变压器、整流二极管、隔离反馈（有时还包括数字化数据隔离通道）都被集成在同一器件中，因此解决方案的尺寸显著减小。除了减小表面积之外，使用平面变压器还可使集成式解决方案的 z 维度（高度）比分立式变压器更低，分立式变压器的厚度会是平面变压器的两到三倍。
- 简洁而可靠的设计：集成式解决方案使系统设计变得更加简单，因为用户可在芯片上集成线路/负载调节的反馈和电源的所有保护机制（如过载和短路保护、热关断和软启动）。带有笨重变压器的电路板在振动测试中表现不佳。因此，集成式解决方案还有助于提高板级可靠性。

德州仪器 (TI) 的 UCC12050 是增强型隔离式直流/直流偏置转换器和模块系列的一部分。它集成了具有专有架构的变压器和直流/直流控制器，可实现较高的效率和极低的辐射。它以 60% 的峰值效率提供 500mW（典型值）的隔离式输出功率。UCC12050 器件适用于布板空间有限且需要更多集成的应用。

UCC12050 集成了一个高度创新的变压器，可实现 10.3mm x 10.3mm 的封装尺寸，且高度仅为 2.65mm。输出端的集成式热关断和短路容限可实现非常稳健的应用。该器件还适用于为满足所需隔离规范而采用体积庞大且价格昂贵的变压器的模块。图 6-1 所示为一个示例原理图。

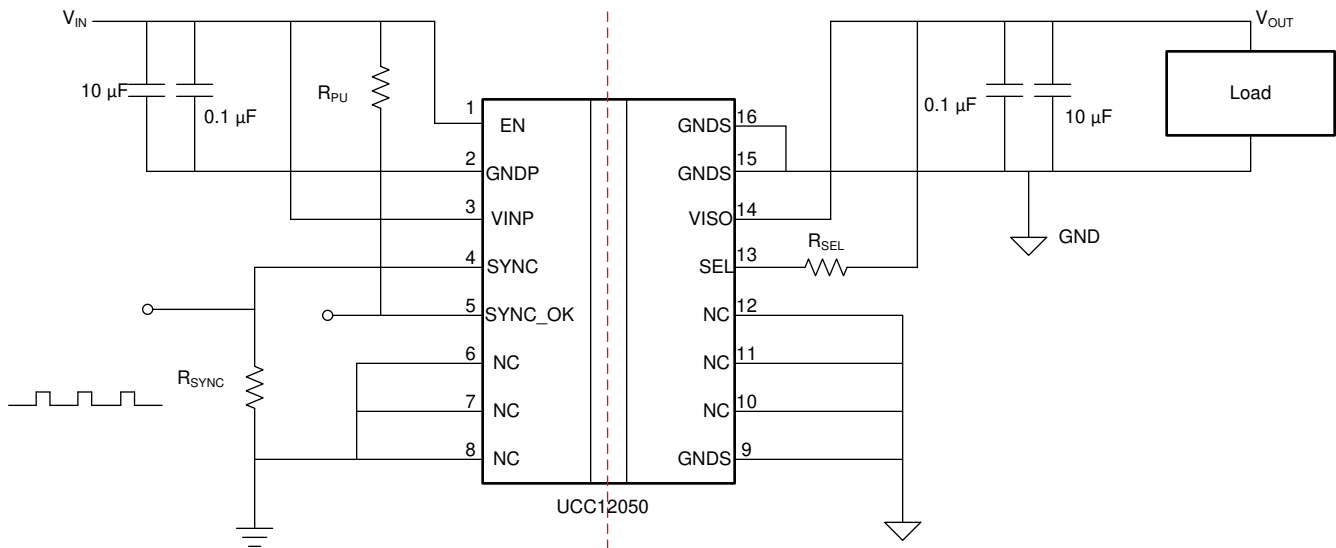


图 6-1. 展示低元件数的 UCC12050 原理图

与同类竞争产品相比，UCC12050 的效率提高了近 30%，满载时的温升降低了 30°C，并且可以在没有 LDO 或铁氧体磁珠的双层 PCB 上通过 CISPR 32 B 类辐射测试（请参阅图 6-2）。在与竞争产品的比较中，UCC12050 的辐射改善超过 20dB。

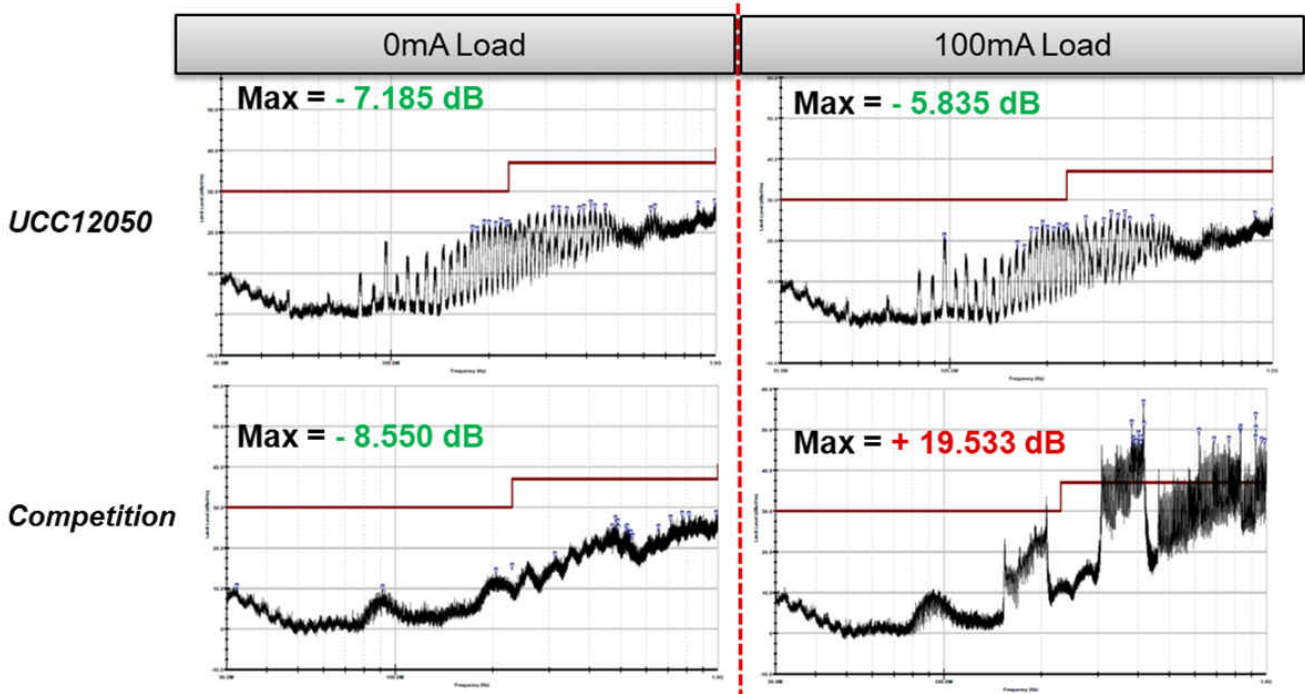


图 6-2. UCC12050 展示出比竞争对手提供的集成式器件更低的辐射

7 用单个器件实现数据和电源隔离

德州仪器 (TI) ISOW7841 属于增强型四通道高性能数字隔离器系列, 该系列集成了高效低发射直流/直流转换器。该系列数字隔离器的运行速度最高 100Mbps, 传播延迟小于 16ns。集成式直流/直流开关模式转换器采用先进的电路技术来降低功率损耗并提高效率, 在 5V 和 3.3V 输入电压下分别支持 130mA 和 75mA 的负载电流。集成式闭环反馈可实现出色的线路和负载调节。我们采用了特殊的发射降低技术, 有助于满足发射标准。

然而, 设计师在集成式电源和数据解决方案方面失去了一些灵活性, 例如输出数量和隔离级别的配置。

有关采用方框图对三种解决方案进行比较, 请参阅图 7-1。

- 基于 SN6505 的带有独立数字隔离器的开环推挽式电源
- 带有独立数字隔离器的集成式电源模块 UCC12050
- 带有集成式数字隔离器的 ISOW7841

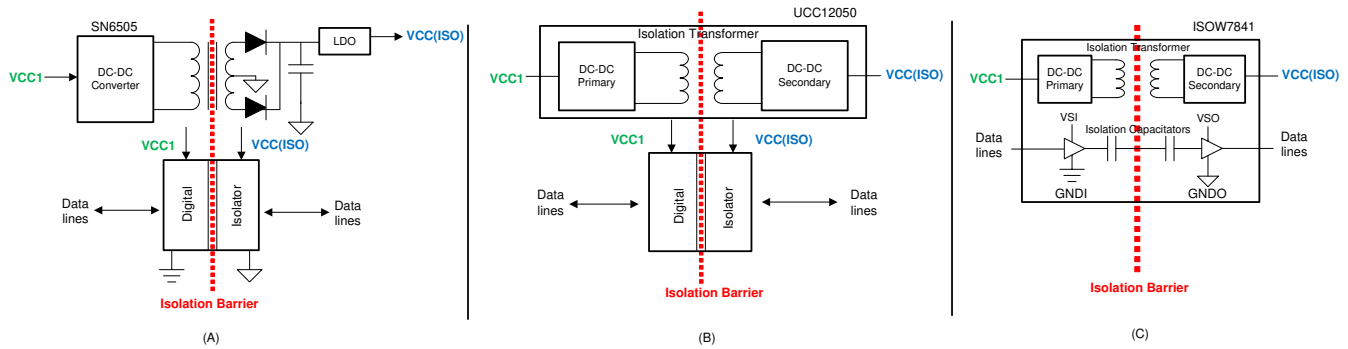


图 7-1. 分立式和集成式解决方案比较

对于图 7-1 中显示的所有三种方法, 图 7-2 重点比较了它们的布局方式。集成式解决方案展示了如何减小整体尺寸。

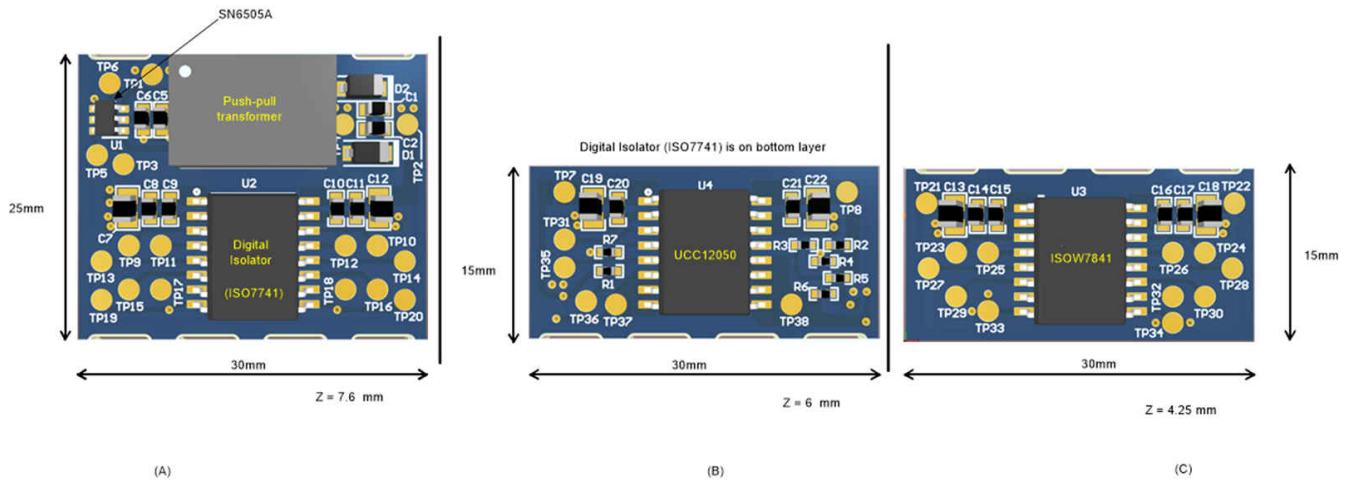


图 7-2. (A) SN6505 + 数字隔离器 (B) UCC12050 + 数字隔离器 (底层) 和 (C) ISOW7841 的布局尺寸比较

8 总结

表 8-1 将所有拓扑的不同参数进行了比较。

表 8-1. 隔离式电源拓扑的比较

参数	传统反激式	PSR 反激式 (LM25180)	开环推挽式 (SN6505)	闭环推挽式 (LM25037)	隔离式电源模块 (UCC12050)	带有数字隔离器的 隔离式电源 (ISOW7841)
输出功率级别	灵活 (取决于变压器和 PWM 控制器)	5W 至 7W	5W	灵活 (取决于变压器和 PWM 控制器)	0.5W	0.65W
输入电压范围	最高 42V/65V	最高 42V/65V	最高 5.5V	最高 75V	最高 5.5V	最高 5.5V
输出调节	1% 或以下	1%	5%-10%	1% 或以下	1.5%	1%
分立式元件的数量	超过 30	21	10	46	小于 10	小于 10
隔离额定值	灵活 (取决于变压器)	灵活 (取决于变压器)	灵活 (取决于变压器)	灵活 (取决于变压器)	5000Vrms 增强型	5000Vrms 增强型
辐射	高	高	低	高	低	中高

9 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (October 2019) to Revision A (October 2020)	Page
• 更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式.....	2
• 更改了文档的标题.....	2

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司