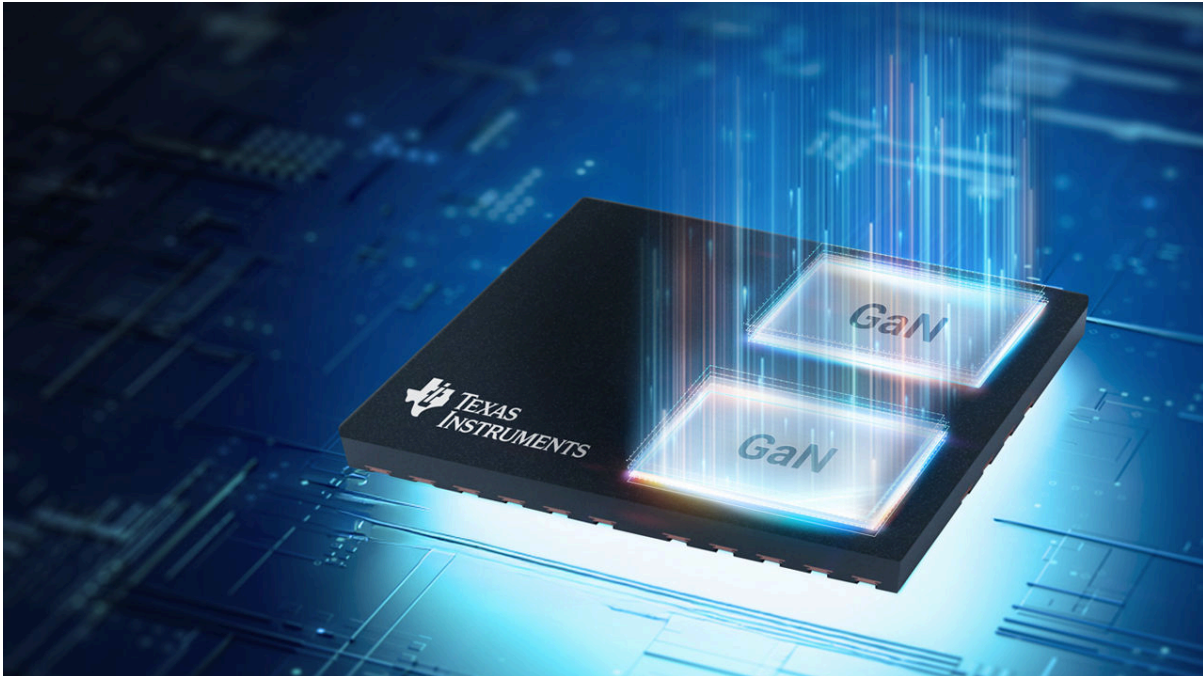


Technical Article

集成式 GaN 转换器正在重新定义高电流电源设计的四种方式



- GaN 集成可降低开关损耗，实现创新的电路技术和元件集成并提高热性能。
- 与硅替代产品相比，中压 **GaN 集成式降压和升压转换器** 的尺寸缩小多达 50%，而且不会影响效率。



对于更高功率密度的推动将继续影响大电流电源的每个主要设计决策。数据中心和计算基础设施的发展速度正在让传统电源架构面临压力。从机器人技术到测试和测量设备，工程师都面临着同样的根本性挑战：在不牺牲效率的情况下，以更小的空间提供更大的功率。

多年来，硅基开关转换器和分立式功率 FET 设计拓展了中电压、高电流应用的可能性。但是，随着开关频率的增加和尺寸的缩小，硅 FET 的基本限制（导通状态电阻更高、反向恢复损耗和寄生电荷更大）成为实现设计目标的主要障碍。电力电子行业花费了超过 15 年的时间投资，开发和验证氮化镓 (GaN) 技术，使其成为高电流电源设计的成熟替代产品。

GaN 功率 FET 具有比其对应的硅方案大体更好的电气特性，并且集成度高。将功率 FET、栅极驱动器、控制器和无源器件组合到单个紧凑的封装中，以硅方法无法企及的方式更大幅度地提高效率和功率密度。在 TI 的中压 GaN 多芯片模块 (MCM) 集成电路 (IC) 中，[LMG708B0](#) 80V 降压转换器和 [LMG5126](#) 42V 升压转换器的尺寸比硅解决方案最多小 50%，而且不会影响效率，满足高电流应用（通常为 $\geq 20A$ ）的设计要求。

为了满足高电流直流/直流转换器设计的需求，需要了解 [GaN 四大关键进展可能实现的各种权衡和技术](#)：

1. 降低开关功率损耗
2. 采用创新的电路技术
3. 支持元件集成
4. 封装热性能更出色

让我们简要了解一下 GaN 所带来的每项进步。

1.降低开关功率损耗可实现更高频率及更小的无源器件

与硅功率器件相比，增强模式 GaN 功率 FET 的宽带隙 (WBG) 特性和横向结构提供了更低的漏源导通电阻 $R_{DS(on)}$ 和更低的寄生电荷 (栅极电荷 $[Q_G]$ 、栅漏电荷 $[Q_{GD}]$ 和输出电荷 $[Q_{OSS}]$)。因此， $R_{DS(on)} \times Q_G$ 和 $R_{DS(on)} \times Q_{OSS}$ 品质因数也显著改善。

GaN FET 还可消除体二极管和相关的反向恢复电荷 $[Q_{RR}]$ ，从而消除频率成比例的反向恢复损耗，同时减少开关节点电压振铃和相关的电磁干扰 (EMI)。预测定时特定于 GaN 的栅极驱动器可产生大约 4ns 的死区时间，从而进一步更大限度地减少开关换向期间的功率耗散。

除了降低导通损耗之外，基于 GaN 的转换器更高的开关能力和更低的寄生效应还可以降低总功率耗散，从而使您能够提高开关频率，缩减磁性和电容无源器件以及减少或消除散热。这在不牺牲效率的情况下让系统总体占用空间更小。图 1 确认高电流直流/直流降压和升压转换器设计的效率性能。

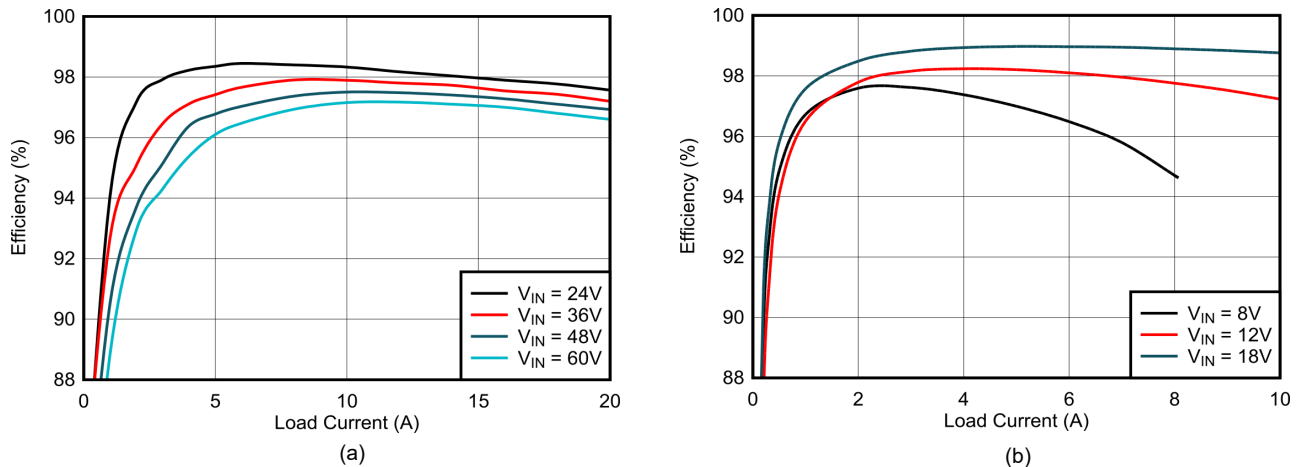


图 1. GaN 降压转换器效率， $V_{OUT} = 12V$ (a)；GaN 升压转换器效率， $V_{OUT} = 24V$ (b)

2.采用创新的电路技术来实现可扩展性并且提高轻负载效率

多相可堆叠拓扑能够将电流扩展到更高的倍数，并支持切相以提高轻负载效率，从而提升高电流应用的设计灵活性。为此，LMG708B0 GaN 降压转换器具有智能多相时钟 SYNC，通过相位之间的菊花链连接可实现频率和相位信息通信。由此产生的交错降低了输入纹波电流及 EMI 滤波器尺寸。

图 2 显示了一种采用 30mm x 25mm 单面布局的 48V_{IN} 至 5V_{OUT}、40A、500kHz 两相设计，与传统的硅基设计相比，实现尺寸减小了一半。

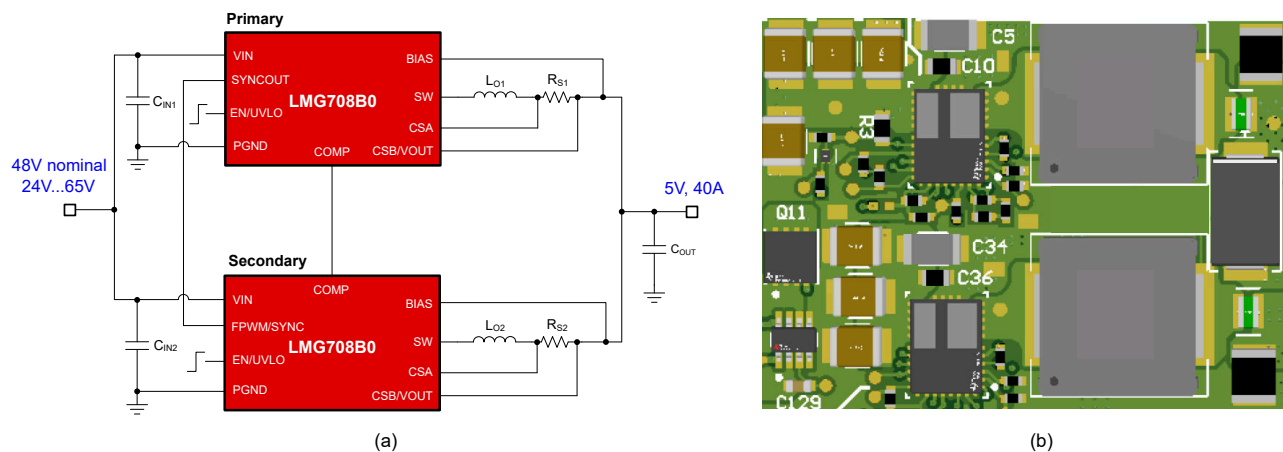


图 2. 两相降压转换器简化版原理图 (a)，高密度布局 (b)

3. 包含有源和无源元件的集成

传统的中压 (12V 至 80V) 高电流 (> 20A) 降压和升压稳压器通常需要四个或更多分立式电源元件, 包括高侧和低侧 FET、栅极驱动器、自举电路和控制器。如图 3 所示, TI 的 MCM 集成方法使用倒装芯片可路由引线框 (FCRLF) 封装技术将设计整合到 4.5mm x 6mm x 0.8mm、22 引脚封装中, 该技术整合了四个裸片 (两个 GaN FET、一个控制器和一个启动沟道电容器)。FCRLF 封装结构可更大限度地减小 FET 电源端子和底层 PCB 焊盘之间的寄生电感, 从而直接提高开关性能。

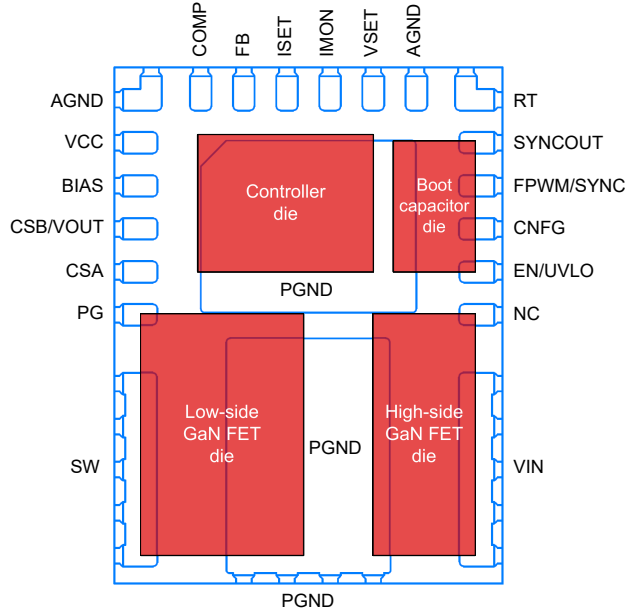


图 3. 元件集成可以提高功率密度

集成还可缩小功率和栅极环路开关区域, 从而实现更低的 EMI 信号。由此产生的电感寄生效应减少可产生更干净的开关波形且没有振铃, 这对于 GaN 开关性能所不可或缺的高压摆率电压和电流至关重要。总之, 这些集成优势使您能够优化设计中与效率和尺寸相关的性能指标。

4. 封装热性能更出色

LMG708B0 及 LMG5126 GaN 转换器的 FCRLF 封装技术支持具有双热流路径的热增强型封装。两个 GaN FET 裸片的背面暴露在封装顶部, 可形成顶部和底部散热焊盘, 通过安装在器件上方的散热器支持可选的双面冷却 (请参阅图 4)。

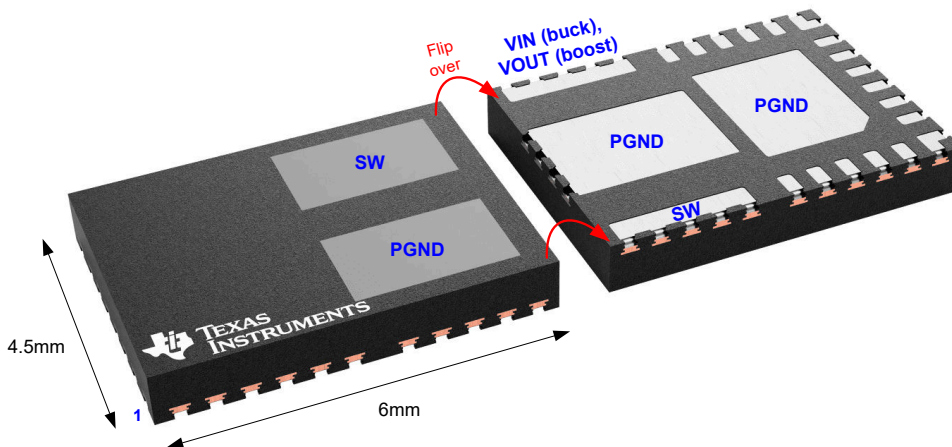


图 4. 耐热增强型封装顶视图及底视图

在没有散热器的情况下，大部分热量会流经底部散热焊盘 (PGND) 和熔合的热棒 (VIN 或 VOUT、SW)，进入多层电路板和周围环境。采用散热器配置时，热量从 IC 传递到电路板，同时通过外露的顶部散热焊盘 (SW、PGND) 以相反的方向流向封装外壳，并流向连接的散热器以实现顶部冷却。

如图 5 所示，这会创建并行的结至环境热阻路径，从而降低有效热阻，从而在给定的 IC 功率耗散下实现较低的工作温度，或者在定义的外壳温度设定值下实现较高的电流能力。

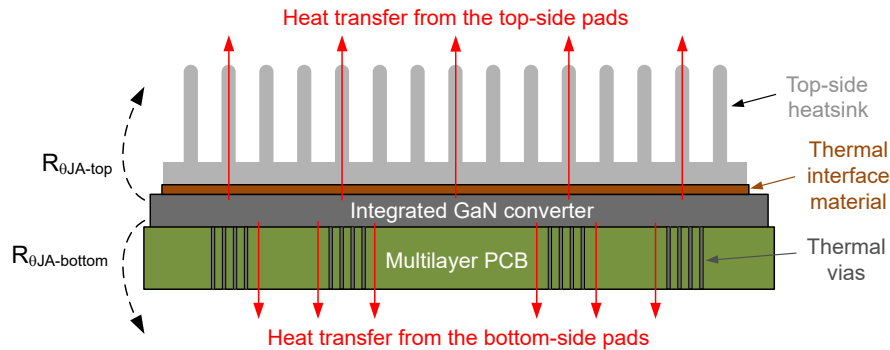


图 5. 较低热阻抗的双热流路径图示

结语

通过减少开关损耗、利用创新的电路技术、提高元件集成度并提高封装热性能，集成式 GaN 转换器可帮助您克服硅基设计无法再克服的功率密度障碍。集成式 GaN 转换器可在 12V 至 80V 直流/直流转换空间内以更高频率和更高功率密度工作，与硅基替代产品相比，尺寸可缩小多达 50%，从而提供出色的效率。

其他资源

- 使用 LMG708B0 降压转换器评估模块 (EVM) 评估采用 20A 单相和 40A 双相配置的 GaN 性能，以及 LMG5126 15A 升压转换器 EVM。
- 了解采用集成式 GaN 的 48V_{IN}、960W、四相降压转换器参考设计和 3V 至 42V 同步 GaN 升压转换器参考设计。
- 下载适用于 LMG708B0 和 LMG5126 转换器的快速入门计算器工具。

关于作者

Timothy Hegarty 是德州仪器 (TI) 开关调节器业务部门的高级技术人员。凭借超过 25 年的电源管理工程经验，他撰写了大量的会议论文、文章、研讨会、白皮书和应用手册。他目前专注于为具有宽输入电压范围的高密度、低 EMI 开关稳压器技术提供支持，此类技术适用于汽车、工业和数据中心应用。

商标

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