

Technical Article

借助 TOLL GaN 突破太阳能系统的界限



Sai Madhav , Poorva Moharil



太阳能系统的发展势头越来越强，光伏逆变器的性能是技术创新的核心。设计该项光伏逆变器旨在尽可能高效地利用太阳能。

其中一项创新涉及使用氮化镓 (GaN)。氮化镓正在快速取代硅 (Si) 和绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 系统。GaN 不仅能提高太阳能系统的性能，也能提升整个系统的效率，此外，在保证缩小系统尺寸的同时，还能降低热损耗、易于安装和降低成本。

比较 GaN、SiC 和 IGBT

GaN 凭借其每个裸片区更优的电阻 (R_{sp})、更低的输入输出电容 (C_{iss} 和 C_{oss}) 以及零反向恢复电荷等特性，显著提升了功率转换系统的性能。这些特性对于在开关频率升高的情况下降低导通损耗和开关损耗至关重要，而这反过来又会减小无源元件的体积，使系统更轻便和更紧凑。

研究人员正在积极致力于通过改进制造、 R_{sp} 和封装，最大限度地发挥 GaN 的潜力。例如，如表 1 所示，与双 decawatt 封装 (D2PAK) 或晶体管封装轮廓 (TO) - 247 封装等表面贴装封装相比，晶体管封装轮廓无引线 (TOLL) 的表面贴装封装具有更好的热性能和更低的寄生效应。

表 1. TO-247、D2PAK、TOLL 封装中的 GaN 器件热阻值

封装	封装尺寸	R_{DSon}	$R_{\theta JC}$
TO-247	21.0mm × 15.8mm	50m Ω	0.95
D2PAK	9.15mm × 10.16mm	50m Ω	1.05
TOLL	9.8mm × 11.6mm	70m Ω	0.73

TOLL 封装简介

作为无引线封装，TOLL 封装的寄生电感非常低，因而开关速度更快（减少开关损耗）、压摆率更高并且电磁干扰更低。TOLL 封装的尺寸为 9.9mm x 11.68mm x 2.3mm，显著小于 TO-247 的封装尺寸 15.94mm x 20.95mm x 5.02mm，如此以来，印刷电路板上可利用的面积会增加 70%。经过优化的 GaN 工艺使 GaN 场效应晶体管 (FET) 具有极低的漏源导通电阻 (RDS (on))，适用于高功率应用。TOLL 封装的尺寸紧凑，可实现更快的热损耗并提高热效率。

将 GaN FET 与驱动器集成在一起，可进一步提高效率和降低成本，有助于减少栅极电感环路数量，并在功率级中嵌入过流和过热保护功能。通过集成可以更好地利用 TOLL 封装的优势，从而进一步降低寄生效应和系统成本。TI 的 LMG3650 等器件结合了集成和高效散热封装的优势，可用于高压电源转换系统。在高压电源转换系统中，热性能是主要考虑因素，尤其在有源冷却面临挑战的情况下更应如此。

TOLL 在能源基础设施方面的应用

鉴于商业和住宅环境的需求，太阳能微型逆变器、串式逆变器和储能系统都具有对效率、尺寸和成本敏感的功率转换级。

在太阳能应用中，逆变器输出通常与交流电网相连接，FET 的额定电压需达到 650V。此外，这些逆变器应尽可能紧凑，以便灵活地应用于住宅或商业系统。高压 GaN FET 的额定绝对最大电压为 800V，并能增加开关频率，缩小无源器件的尺寸，从而满足高电压和尺寸两项系统要求。TOLL 封装具有高效散热特性，适用于系统环境温度高于室温且有效热损耗至关重要的太阳能应用中。

LMG3650 中的集成式功率级提供过热保护、过流保护和欠压锁定等保护功能，无需外部保护电路，从而降低设计复杂性和缩小尺寸。它具有零电压检测和过零检测等高级功能，可优化死区时间并降低损耗，还配有 5V 低压降稳压器，为驱动任何辅助电路输出电流源。这些特性有助于优化能量转换系统的性能和成本。

[基于 gan 的 600W 单相循环换流器参考设计](#)具有循环换流器拓扑，在高压侧使用 LMG3650，在低压侧使用 LMG2100。该参考设计展示了集成式 GaN 器件的潜力，该器件的功率密度为 640W/L，峰值效率为 96.1%，并可在高达 600kHz 的开关频率下运行。

使用 TOLL 器件进行设计

为您的设计选择合适的 [GaN 器件](#)是通过降低开关和传导损耗来提高系统性能的必要条件。使用 RDS (on) 较低的器件可能不是提高效率的一站式解决方案，因为它需要较大的 GaN 芯片，这会增加输出电容，进而增加开关损耗和成本。

在硬开关拓扑中，具备较高 Coss 的低 RDS (on) 会致使开关损耗大于导通损耗，而在软开关拓扑中，低 RDS (on) 能提高效率并且使开关和导通损耗非常低。

设计人员需要关注的另一点是多源功能。TI 的集成式 TOLL GaN 器件的封装与分立式 TOLL GaN 器件兼容，并为我们的客户提供多种采购选择。如图 1 所示，您可以通过保持原理图和布局不变，仅对元件进行微小更改，便能将 TI 的 TOLL 器件部署在与分立式器件相同的电路板上。

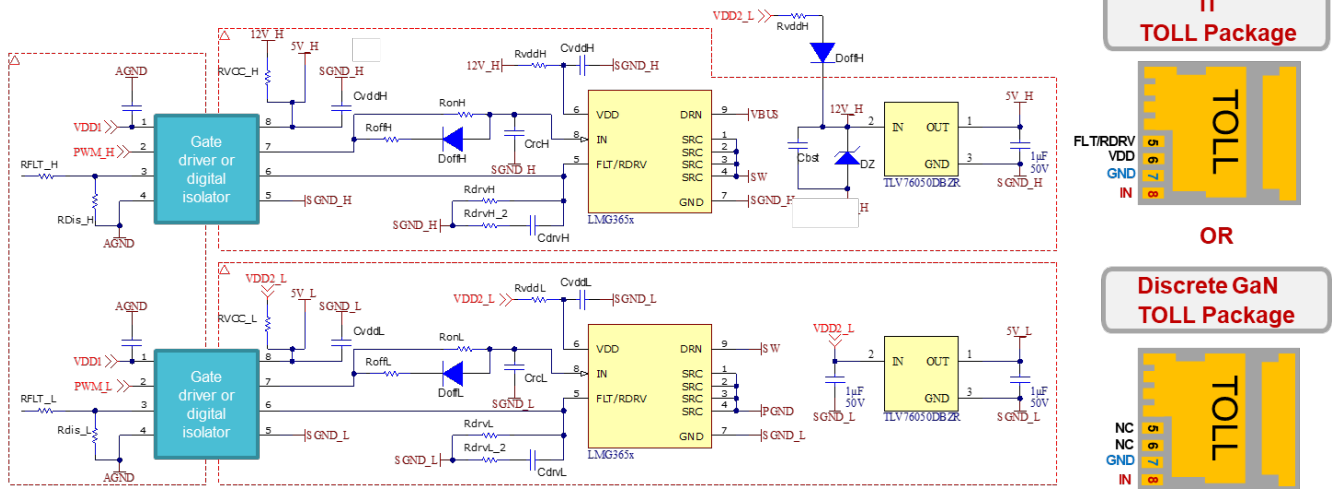


图 1. TI 和分立式 TOLL GaN 封装的原理图

结语

随着功率需求的不断增加，采用 GaN 器件可以提高电源转换系统的性能、节约成本和缩小尺寸。采用 TOLL 封装的 GaN 器件非常适合应用于太阳能中，该类应用要求业界通用封装具备高效性、紧凑性和热性能。GaN 技术的快速发展有望彻底改变电源系统，利用其固有优势开发出高效、强大且可靠的解决方案。

其他资源

- LMG3650 - 650V TOLL 封装 GaN FET 具有集成驱动器和保护功能,提供 3 个 RDSon 选项 - [25mΩ](#) , [35mΩ](#) , [70mΩ](#) ,
- 查看 [LMG3650R035 评估模块 EVM 用户指南](#)
- 详细了解我们的 [GaN 技术](#)

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

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 © 2025，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月