

Application Brief

成功并联功率 MOSFET 的技巧



John Wallace

并联功率金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 是一种降低传导损耗并在多个器件上分散功率耗散以限制最高结温的常见方法。本应用简报分享了在各种应用中并联功率 MOSFET 的最佳实践和示例。

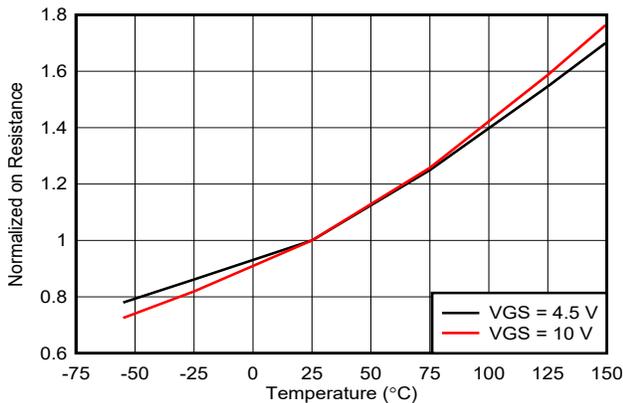


图 1. 功率 MOSFET 导通电阻与温度之间的关系

首先，考虑两个 FET 并联时的静态工作方式，如图 2 所示。

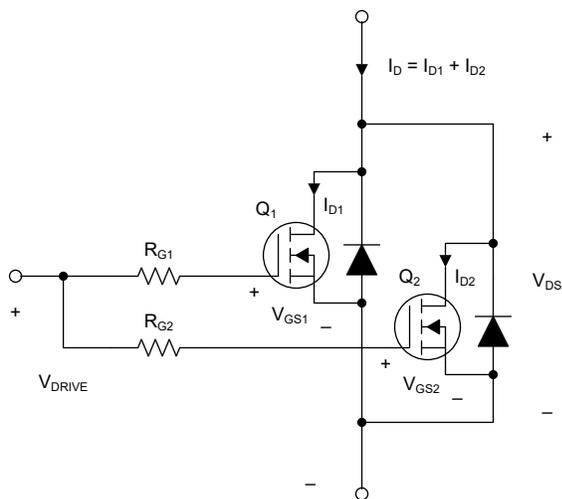


图 2. 两个 MOSFET 并联原理图和 PCB 布局示例

图 3 展示了 TPS2482 热插拔评估模块 (EVM) 的部分原理图和图片。

每个 FET 中的电流与其导通电阻 $R_{DS(on)}$ 的倒数成正比。当然，具有最低 $R_{DS(on)}$ 的器件将承载更多电流。随着温度升高，其 $R_{DS(on)}$ 增加，将部分电流转移到其他 FET。具有良好热耦合性能的并联 FET 的结温将大致相同。电流共享仍取决于每个 FET 的相对导通电阻，并将在 MOSFET 数据表中指定的 $R_{DS(on)}$ 容差范围内。

在动态运行期间，具有最低阈值电压 $V_{GS(th)}$ 的 FET 会首先导通并最后关断。此 FET 会吸收更多的开关损耗，并在开关转换期间产生更高的应力。在某种程度上，热共享效应平衡了开关损耗和导通损耗，并且 FET 将在大致相同的温度下运行。

并联功率 MOSFET 时的最佳实践

以下是并联使用 FET 时的有用提示：

- 每个 FET 都需要自己的栅极电阻器，阻值从几欧姆到几十欧姆不等。这有助于实现电流共享并防止栅极振荡。
- FET 需要良好的热耦合以确保器件之间的电流和热平衡。它们可以安装在公共散热器或铜平面上，以保持相同的温度。
- 在合理范围内，每个 FET 的放置和布局应完全相同且对称，以均衡关键栅源环路和漏源环路中的寄生电感。
- 确保栅极驱动电路可以驱动多个器件的更高电容（电荷），而不会变得过热。请记住，总电容（电荷）是各电容（电荷）乘以并联 MOSFET 的数量。
- 避免在栅源极或栅漏极之间添加外部电容器。如有必要，调整栅极电阻值以优化 FET 的开关速度。
- 如果需使用齐纳二极管来保护 MOSFET 驱动器，请将二极管放置在栅极电阻器之前并靠近栅极驱动器输出。

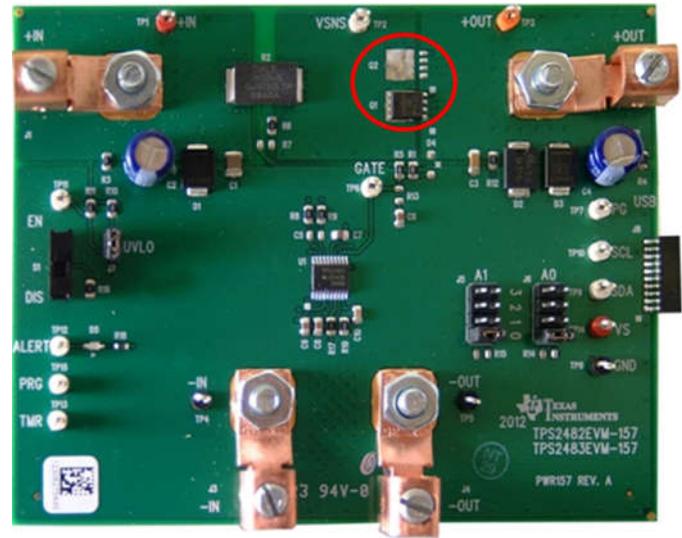
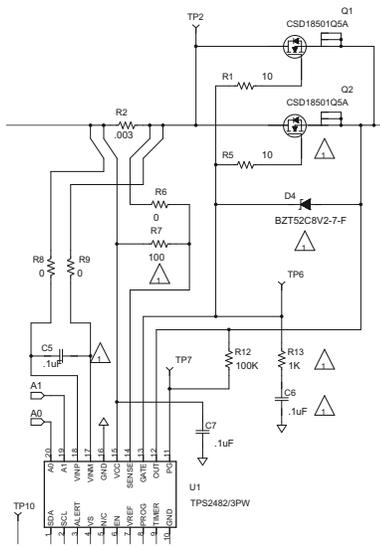


图 3. TPS2482 EVM 原理图和印刷电路板 (PCB)

如图 4 所示，TPS2482 EVM 使用两个并联的 CSD18501Q5A MOSFET。原理图显示了每个 FET 都具有一个 10Ω 栅极电阻器；齐纳二极管在栅极驱动器输出端，位于栅极电阻器之前。FET 靠近放置在相同的覆铜平面上，并使用过孔实现出色的热耦合以散发热量。

图 4 中显示的下一个示例来自效率大于 98% 的 18V/1kW、160A 峰值电流、高功率密度无刷电机驱动参考设计。

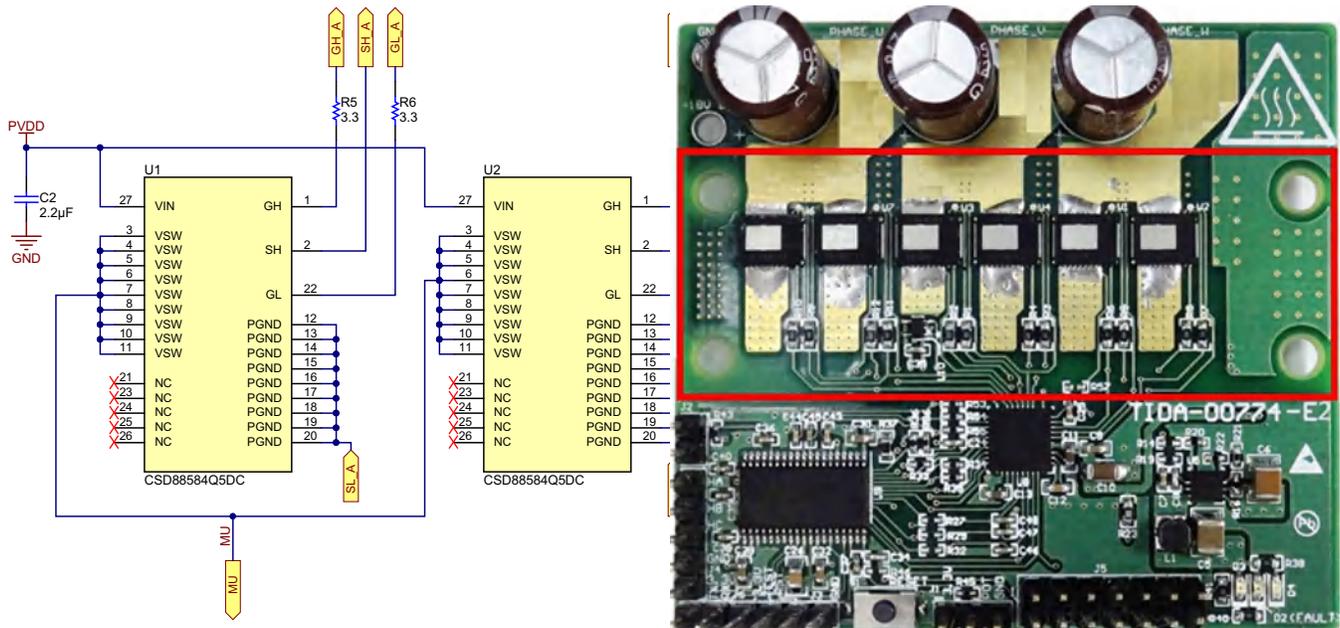


图 4. 18V/1kW 无刷电机驱动参考设计原理图和 PCB

此参考设计在每个级并联使用两个 [CSD88584Q5DC](#) 功率 MOSFET。将 MOSFET 连接到同一个散热器可实现良好的热耦合，这有助于从封装顶部带走热量。该设计针对电源块中的每个 FET 包含独立的 $3.3\ \Omega$ 栅极电阻器。

图 5 中显示的最后一个示例来自适用于叉车交流牵引电机且由 48V 直流电池供电的 5kW 逆变器功率级参考设计。

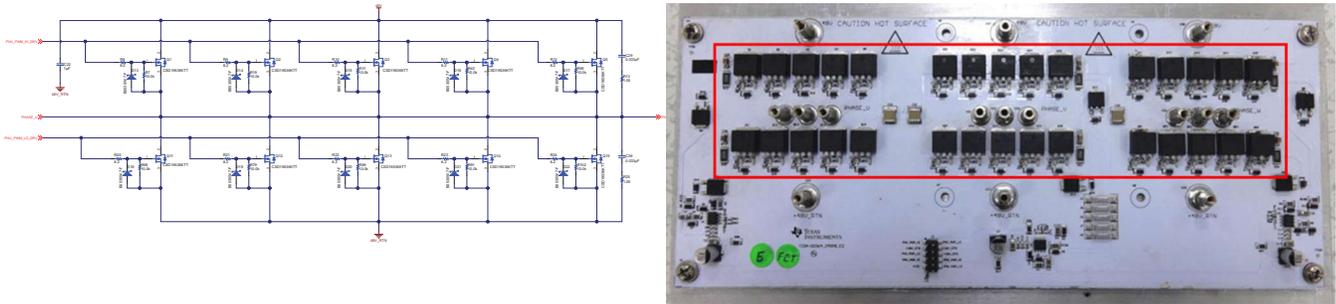


图 5. 5kW 功率级参考设计原理图和 PCB

此参考设计为每个级中的高侧和低侧开关使用五个并联的 [CSD19536KTT](#) 功率 MOSFET。FET 安装在绝缘金属基板上，以便冷却并在器件之间实现出色的热耦合。每个 FET 都有一个 $8.2\ \Omega$ 栅极电阻器。

结语

并联 MOSFET 凭借其固有的电流和热共享特性，可以降低传导损耗并限制其最高结温。并联运行功率 MOSFET 有助于解决本文中讨论的问题，但需要的元件数量和成本更高，PCB 面积更大。在可能的情况下，请使用单个 FET；如果无法做到，请在您的应用中仔细考量并联 FET 的设计和布局，以确保成功。

其他资源

查看以下技术文章：

- [如何为您的应用选择合适的功率 MOSFET 或电源块封装。](#)
- [使用电源块改进电动工具设计的性能](#)
- [访问 TI MOSFET 支持和培训中心。](#)

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 © 2023，德州仪器 (TI) 公司