



Frank Qin

TI 的 LM74x 系列 (如 LM74502H、LM7480-Q1、LM74930-Q1 等) 理想二极管 *ideal diode* 控制器在电源反向保护、浪涌抑制和负载开关等场景中具有广泛应用。在需要承载大电流的设计中，常常需要将多颗功率 MOSFET 并联，以实现更低的导通损耗与更高的热冗余。本文将从优势、驱动匹配设计与关键注意事项三个维度系统梳理，为设计者提供可操作性建议。

一、并联 MOSFET 的设计优势

1. 更低的导通损耗

MOSFET 的导通损耗 ($P = I^2 \times R_{ds(on)}$) 与其导通电阻成正比。通过并联多颗 MOSFET，可以将等效 $R_{ds(on)}$ 显著降低，从而减少功率损耗。例如，两颗相同参数的 MOSFET 并联时，等效 $R_{ds(on)}$ 理论上为单颗的一半。

2. 热均衡能力更强

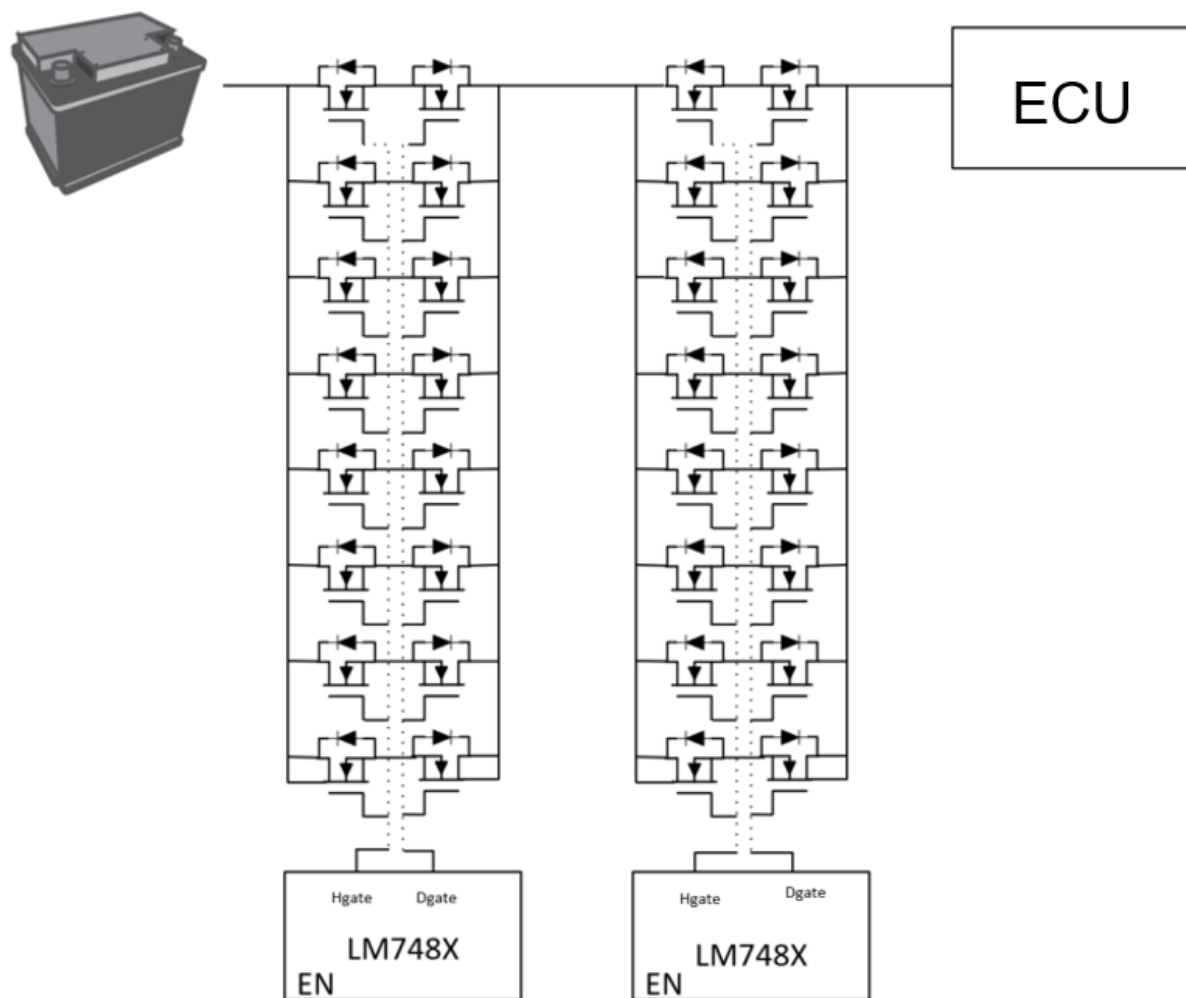
高电流负载中，单颗 MOSFET 发热严重。并联可以分摊热负载，提升热分布均匀性，并降低单颗器件的热应力。

3. 系统可靠性提升

多颗器件并联具备一定容错能力，即使一颗 MOSFET 发生性能下降或失效，仍可维持供电路径的部分导通，提升整个系统的冗余度。

4. 提高器件选择灵活性

在高电流场景下，有时单颗 MOSFET 无法满足电流规格或散热条件。通过并联中小规格器件，可以满足系统需求。相较于寻找一颗满足极高电流和极低 $R_{ds(on)}$ 的 MOSFET，多颗中等规格 MOSFET 并联不仅更容易选型，也更利于采购与库存管理。



二、如何评估驱动能力与 Qg 匹配关系

Ideal diode 控制器本身内置有限的栅极驱动电流（如 LM74502H 下拉电流约 12mA），若直接驱动多颗高栅极电荷的 MOSFET，可能导致开通/关断时间过长，影响系统响应速度与保护性能。因此，理解控制器与 MOSFET 之间的“匹配度”是选型的关键。

1. MOSFET 栅极电荷参数 (Qg)

Qg 是衡量 MOSFET 栅极充电需求的关键参数，单位为 nC（纳库仑），通常可以在 MOSFET datasheet 的 10V Vgs 条件下查得。例如：

- IAUC120N04S6N010 的 $Q_g \approx 120\text{nC}$
- IRL40SC228 的 $Q_g \approx 65\text{nC}$

如果要并联 3 颗 IAUC120N04S6N010，总 Qg 将达到 360nC。

2. 控制器驱动能力估算

Ideal diode 控制器一般不适合频繁高速开关（不像 Buck/Boost 控制器），但其开通时间与电压建立速度仍会影响浪涌抑制与短路响应。

LM7480-Q1/LM74502H 栅极驱动的典型特征如下：

- 栅极拉高能力：内部 11V 电荷泵，拉高电流约 0.5mA
- 栅极下拉能力：典型电流约 10~12mA
- 建议最大总 Qg： $< 500\text{nC}$

3. 估算开通时间

我们可以粗略估算栅极建立时间：

$$t_{\text{rise}} \approx Q_g / I_{\text{GATE}}$$

举例：LM74502H 驱动两个 $Q_g = 120\text{nC}$ 的 MOSFET，总 $Q_g = 240\text{nC}$ ，若栅极电流为 0.5mA ，

$$t_{\text{rise}} \approx 240\text{nC} / 0.5\text{mA} = 480\text{ns}$$

虽然 $\text{sub-}\mu\text{s}$ 级别的开通时间对于反向保护场景通常是可以接受的，但当并联器件数进一步上升， t_{rise} 会迅速增加，甚至出现器件“迟迟未导通”的现象。

4. 如何优化

- 并联数目控制在 3~4 颗内，保持总 $Q_g < 500\text{nC}$
- 尽量选用低 Q_g 、低 $R_{\text{ds(on)}}$ 的器件（非线性相关）
- 若必须并联多颗 MOSFET，可在控制器与 MOSFET 栅极之间增加一个低速缓冲驱动器（如 LM5111）
- 增大栅极电阻可减少浪涌但也拉长建立时间，需权衡系统利弊。

三、设计注意事项与实战经验总结

1. 栅极电阻配置

当多颗 MOSFET 并联时，推荐每颗 MOSFET 串联一个小电阻（通常 $1\sim 10\Omega$ ），避免器件间的栅极振荡干扰或电流串扰。

建议每颗 MOSFET 接入独立的栅极电阻可以有效减小环流电流对其他 MOSFET 栅极的干扰。共用一个栅极电阻可能引发并联器件开关不同步的问题。

2. 器件参数匹配性

器件间若 $V_{\text{gs(th)}}$ 、 Q_g 差异大，可能导致电流集中于导通较快的器件，引发热点甚至烧毁。建议：

- 选择同型号、同批次器件
- PCB 热耦合良好，避免单颗过热
- 可考虑使用自动电流平衡控制器，但增加成本与复杂度

3. PCB 布线与电感对称性

即便选型和栅极控制合理，PCB 布局仍会严重影响电流分布。布线阻抗、铜皮宽度、过孔数量等走线不对称因素都会让不同 MOSFET 承载不同电流，影响并联效果。建议：

- 所有 MOSFET 的 Drain 和 Source 走线应等长、等宽
- 避免多个器件共用过长的源极回路
- 关键路径上使用铜皮和过孔进行热补强

4. 栅极驱动路径稳定性

使用驱动线过长、过细或存在噪声干扰会导致 V_{gs} 信号波动，推荐：

- 栅极驱动线靠近地层布线
- 适当加入吸收电阻和电容过滤尖峰
- 可并联小电容（ $10\sim 100\text{pF}$ ）在 V_{gs} 与 GND 之间稳定门极电位

5. 关断速度对保护性能的影响

Ideal diode 控制器的主要职责是控制 MOSFET 在合适的方向导通，并对反向电压或浪涌做出响应。并联 MOSFET 关断延迟可能导致浪涌或反灌电流难以及时抑制，特别在瞬时电压跌落或电源故障时表现明显。若系统对浪涌保护响应时间要求苛刻，应控制总 Q_g 并考虑独立快速驱动器协助。

四、结语

Ideal diode 控制器与多颗并联 **MOSFET** 的组合，为高电流、高效率、宽电压输入的应用提供了一种高效、安全且相对灵活的实现方案。它兼具反向保护、热分摊与容错能力，但前提是合理的器件匹配与结构设计。特别是在控制器驱动能力有限的前提下，合理控制总栅极电荷，优化开关路径与 **PCB** 走线，才是实现可靠高效供电系统的关键。

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、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。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司