

Application Brief

以小博大——TI QFN 高侧开关如何释放超强价值



Samuel Skranak, Swanand Phadke

简介

TI 首批采用 QFN 封装的汽车级高侧开关的发布，不仅是 TI 高侧开关产品系列期待已久的转折点，对于汽车配电网中的功率开关而言也具有更广泛的意义。该开关解决了芯片制造商和硬件工程师长期面临的共同挑战：以更少的资源实现更多功能。本文简要回顾了 TI 最新的 QFN 高侧开关（如表 1 中所列）如何从不同维度（即通过结构设计与内部保护机制）应对这一挑战，同时不牺牲可靠性或阻碍设计流程。下文所述特性使这些 QFN 高侧开关在空间受限的汽车应用中具备优势。

表 1. TI QFN 封装汽车级高侧开关

器件型号	说明
TPS1HC04-Q1	汽车级、4.8mΩ、15A 单通道智能高侧开关
TPS1HC08-Q1	汽车级、9.7mΩ、10A 单通道智能高侧开关
TPS2HC08-Q1	汽车级、9.7mΩ、7.5A 双通道智能高侧开关
TPS2HC16-Q1	汽车级、18.5mΩ、5A 双通道智能高侧开关

优化的结构

TI QFN 高侧开关最显著的进步体现在其外形尺寸上。如图 1 所示，在相同导通电阻和通道数量下，器件的整体尺寸比市场上其他解决方案小 70% 以上。这得益于两项新技术的融合。首先，TI 的硅工艺实现了微缩，允许使用更小的 FET，同时仍能满足给定导通电阻下的标称电流要求。

图 1 展示了 TI 新型 QFN 封装与其高侧开关 SOP 封装的对比（左），以及 TI QFN 封装与市场上常见的 SOP 封装的对比（右）。

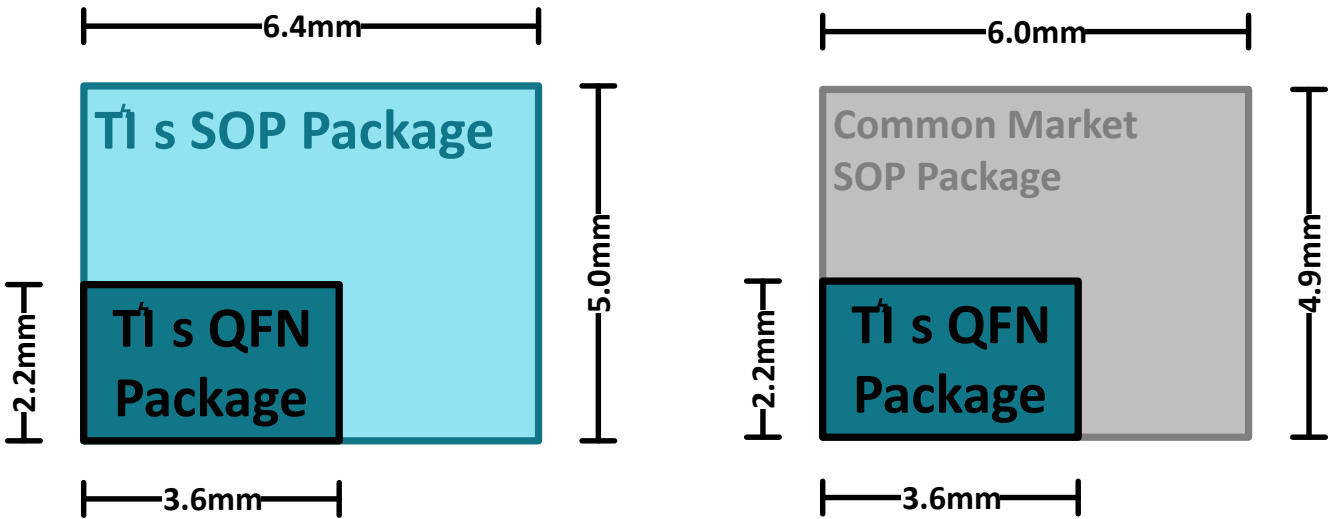


图 1. 封装比较

其次，更重要的是，器件的构造与组装方式得到了极大优化。如 图 2 中的高侧开关的横截面所示，TI 已改用 QFN 封装，其中芯片直接放置在引线框架的铜柱上。这带来了三重优势：

1. 散热性能优于通过键合线电气连接到引线框架的同类器件，因为直接放置在铜柱上提供了更好的散热路径。
2. 电气特性更强，因为铜柱的寄生阻抗低于键合线。
3. 可靠性提升，因为取消键合线减少了故障点数量。

QFN Package Cross Section

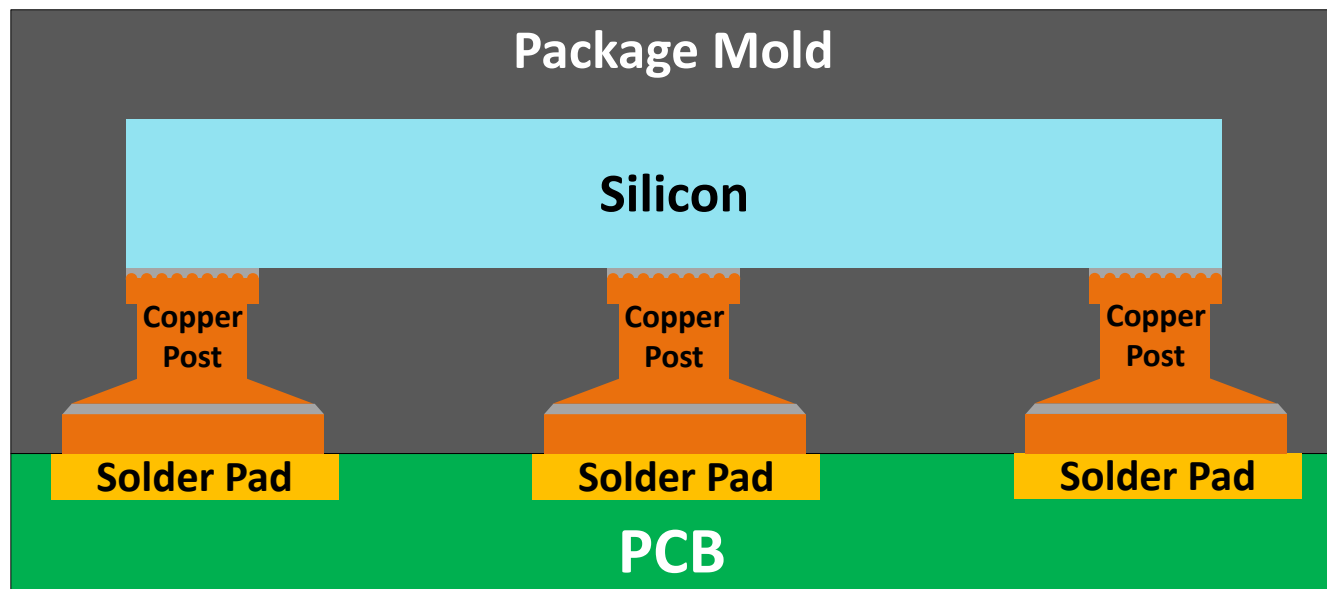


图 2. QFN 高侧开关的横截面

先进的集成热管理机制

各种市场和应用中的功率开关器件普遍具备某种形式的限流功能。TI 的高侧开关要么采用电流限制箝位，即一旦达到阈值，器件就会将电流保持在编程的限值（如图 3a 所示）；要么采用立即关断响应，即一旦达到编程的电流限制阈值，开关就会禁用。这两种限流方案针对不同应用各有优势。然而，在采用 QFN 封装的高侧开关中，采用了更为先进的限流方案。

QFN 高侧开关采用动态且自我调节的电流钳位方案（称为热调节），如下方右图所示。利用器件内部的温度监测器，在驱动负载时，FET 的栅极会主动进行控制以应对热波动。该方案的主要优势体现在驱动容性负载时。以往几代高侧开关中，仅将电流钳制在单一电平，可能需要数次尝试才能将负载的输入电容完全充满。采用这种新方案，容性负载可以被完全充满，而不会导致开关禁用。这样做的好处是器件具有更强的热感知能力，能够为更大的容性负载充电，并承受更长的充电周期。

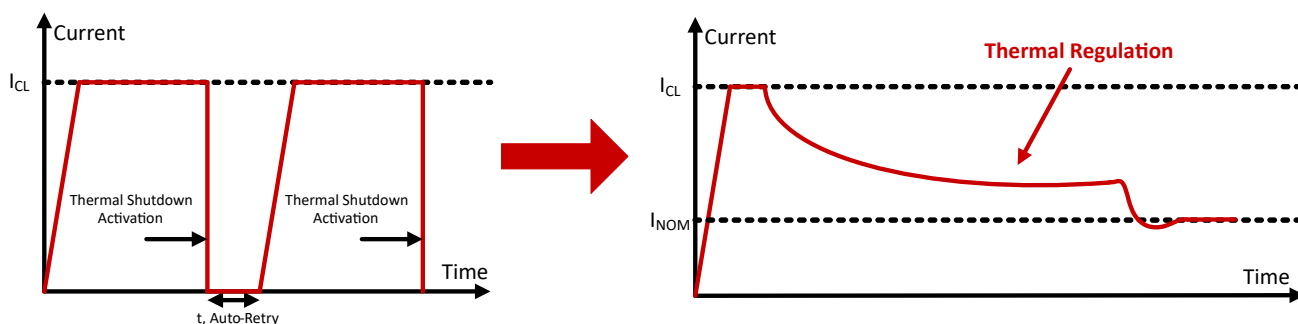


图 3. 电流限制钳位类型：静态电流钳位（左）和热调节钳位（右）

该系列 QFN 高侧开关新引入的第二项保护功能是一种称为电流限制折返的电压监测机制。随着内部 FET 两端电压升高，器件会自动折返（即降低电流限制），以防止器件损坏。根据可调节电流限制 (I_{CL}) 相对于器件断路器阈值 (I_{CB}) 的设置，电流限制将随电压升高而折返，具体如下述场景及图 4 所示：

- 场景 A (蓝线) ：电流限制设置为高于断路器阈值 (I_{CB}) 的一半。随着电压升高，该限值将先降至 $I_{CB}/2$ ，继而降至 $I_{CB}/3$ 。
- 场景 B (红线) ：电流限制设置在 $I_{CB}/2$ 和 $I_{CB}/3$ 之间。一旦达到第二个电压阈值，此限值就会降低。
- 场景 C (绿线) ：电流限制设置在 $I_{CB}/3$ 以下。该电流限制将不会折返。

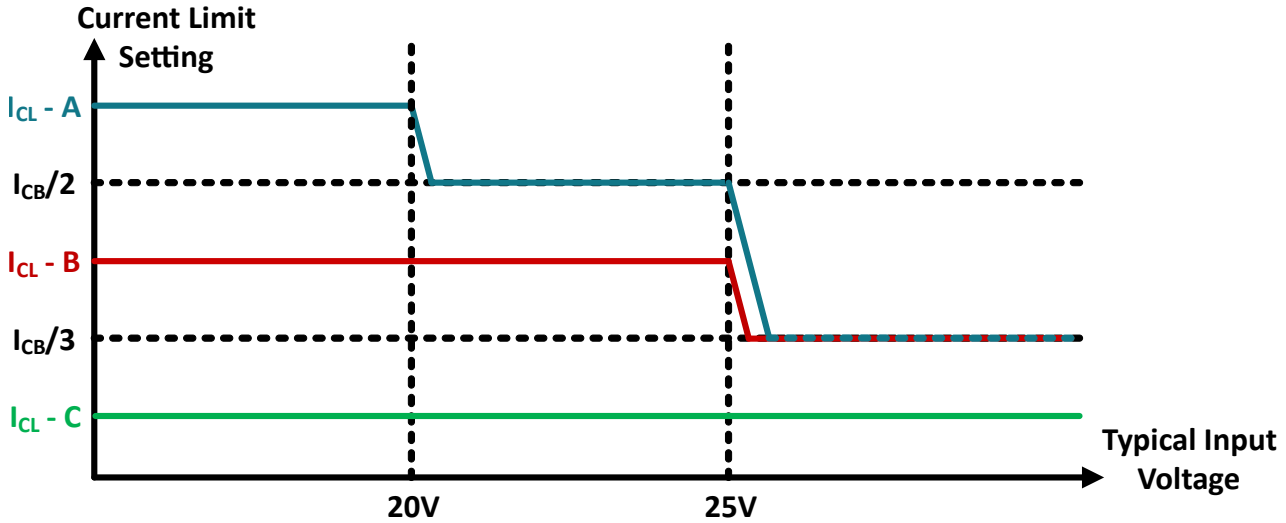


图 4. 基于电流限制设置的折返曲线

热调节与电流限制折返相结合，通过电压和电流控制，最大限度地提升了器件内部 FET 的安全工作区利用率。

经证实的抗外部应力稳健性

业界普遍认为，带引脚封装通常更能抵抗热和机械力等环境应力，尤其是弯曲、扭转和振动。这是因为引脚的柔韧性天然赋予其更高的焊点可靠性。这种稳健性是必需的，因为汽车系统经常遭受温度波动、振动和高加速冲击。QFN 封装器件若要用在汽车应用中，必须证明其能稳健地承受此类应力。作为 TI QFN 高侧开关认证的一部分，器件需要经历一系列模拟常见环境应力的测试。要通过测试，受测器件在每种测试条件下均不得出现焊点故障或功能失效。要了解每项测试的更多详情，请访问 [TI 的质量、可靠性和封装数据下载页面](#)，以获取每个器件的表格化测试信息。认证摘要包括测试类型、规格和条件等信息。

制造难度

随着技术尺寸缩小，制造它们所需的工具精度也须相应提高。在有利条件下，一种尺寸更小的新推出的技术也能弥合精度差距，从而加速其采用，进而推动该技术的大范围普及。TI 的浸锡（简称 Imm Sn）可润湿侧翼技术正是这样一种桥接技术。

下图展示了采用 TI 浸锡可润湿侧翼的 QFN 封装横截面（左），以及搭载高侧开关的 11 引脚 QFN 封装（右）。

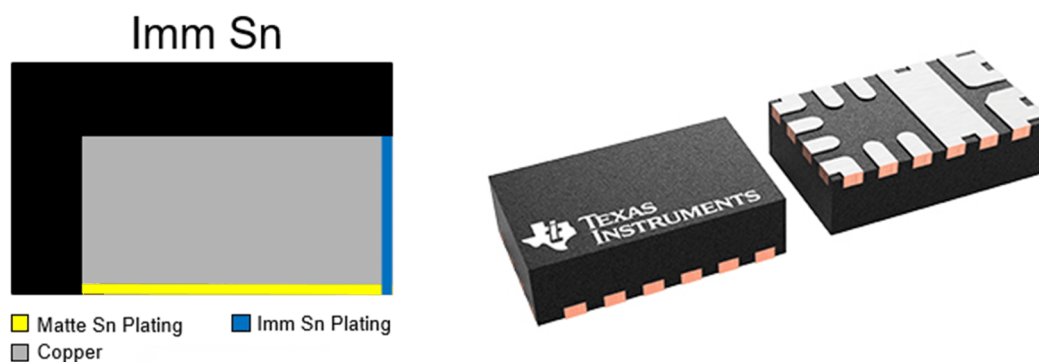


图 5. QFN 封装

如 图 5 所示，这些封装具有外露的侧翼（引线框架的一部分），在封装侧面提供了供焊料爬升的表面积。锡镀层本身呈白色，因此在检测时可清楚看到焊料覆盖情况。这种润湿处理不会改变封装的电气特性或可靠性表现，并且符合业界 100 μ m 侧面润湿的要求，如 图 6 所示。

TI 浸锡可润湿侧翼技术的优势显而易见。首先，它便于制造，因为浸锡侧翼可作为自动光学检测的对比背景。其次，相比其他需要切边或使用更高成本镀层（如镍钯金 (NiPdAu)）的侧翼技术，该方案更优。

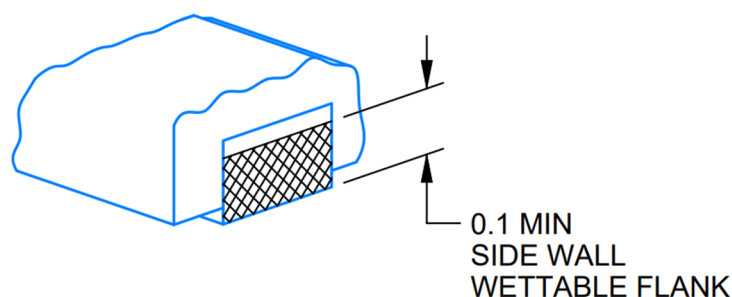


图 6. 0.1mm 侧面润湿行业要求

结语

本应用简报回顾了 TI 采用 QFN 封装的最新高侧开关系列所融合的多项进步。得益于更小的芯片、封装尺寸减小超过 70% 以及引脚间的相互兼容，这些器件非常节省空间。与其他高侧开关相比，这些器件在热管理上更智能，具备热调节和电流限制折返功能。最后，这些器件具有经过验证的可靠性，以及便于制造的结构特点。总之，所有这些特性使这些器件成为空间和预算受限应用的首选——在这些应用中，开关必须以更少的资源实现更多功能。

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