

采用小型直流/直流转换器进行设计： HotRod™ QFN 与增强型 HotRod™ QFN 封装

Rich Nowakowski
Product Marketing, Texas Instruments

Simon Zhao
Systems Engineering, Texas Instruments

引言

半导体封装技术在过去 20 年里取得了长足的进步，特别是在集成了功率金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的直流/直流转换器领域。Single-outline No-lead 和 Quad Flat No-lead (QFN) 封装已取代穿孔和引线式封装，能够以极小的外形处理高输出电流。新的封装技术有助于解决更小型的半导体封装通常会面临的设计和布局方面的挑战，并且新的 QFN 封装技术可用于直流/直流转换器，与传统的引线键合和倒装芯片 QFN 封装相比有所改进。遗憾的是，直流/直流转换器会产生并散发大量热量，而且会受封装和电路板寄生效应的影响，并且由于芯片不同，封装技术的比较通常并无定论。

在本文中，我们将采用两个负载点直流/直流转换器，并使用相同芯片提供高达 20A 的电流，以便直接比较传统倒装芯片 HotRod™ 封装和新型倒装芯片增强型 HotRod™ QFN 封装，展示二者在热性能、开关节点振铃、瞬态、效率和布局方面的差异，进而帮助您确定增强型 HotRod QFN 封装是否更适用于您的应用，以及它是否有助于改善电源密度和性能以消除因采用新技术而产生的任何潜在质疑。

设计注意事项

增强型 HotRod QFN 封装包含更加灵活的布局。借助此封装，您能够将外部元件放置在更靠近集成电路 (IC) 的地方，并通过改进芯片和引线框之间的互连来减少寄生效应。半导体制造商越来越多地为更小型的电路设计直流/直流转换器，而且直流/直流转换器内部的间距更小，同时采

用更小型的封装。这样一来，与单层引线框相比，多层引线框可为 IC 内部设计带来优势和灵活性。为方便比较，我们使用了引脚间距为 0.5mm 的增强型 HotRod QFN 封装直流/直流转换器，可更轻松满足焊接制造偏好和板级可靠性要求。

为了展示每种封装类型的性能，我们设计并构建了两个不同的电源，同时使每个电源的设计和工作条件尽可能相同。我们选择对 16V、20A **TPS548B27** 和 **TPS548B28** 同步降压转换器进行比较。二者都采用 3mm x 4mm QFN 封装。两款器件的唯一差异是每个封装的机械结构。

图 1 所示为 **TPS548B27** 19 引脚增强型 HotRod QFN 封装，引脚间距为 0.5mm。**图 2** 所示为 **TPS548B28** 21 引脚 HotRod 封装，引脚间距为 0.4mm。仔细检查引脚排列后发现，每种封装中集成了相同的电路。我们将数个引脚转移到了增强型 HotRod QFN 封装的较小侧，以适应 0.5mm 引脚间距，并减少了 PGND 引脚的数量。得益于增强型 HotRod QFN，这一更改得以实现，而且无需重新设计芯片金属，这也很好地展示了这种新型封装技术的灵活性。

对于每一种设计，输入电压为 12V，输出电压为 1V，并且每个器件的输出电流都能够达到 20A。这些是为高性能处理器供电的典型要求，如高电流现场可编程门阵列或应用特定集成电路处理器。我们为每个电源选择了 600kHz 开关频率，两种设计均使用 Coilcraft XAL7070-301MEB 电感器，额定值为 300nH，直流电阻为 1.06mΩ。每种设计还使用相同数值的输入和输出陶瓷电容，以便优化设计从而实现高功率密度和小解决方案尺寸。

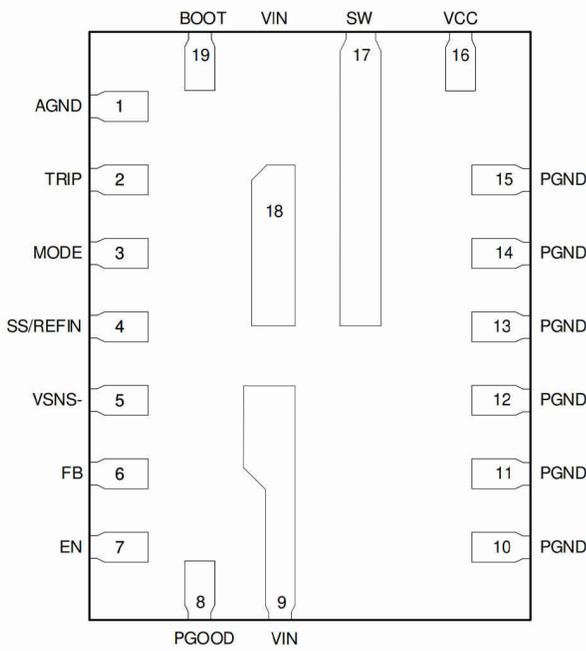


图 1. 增强型 HotRod QFN 封装示例 (顶视图)

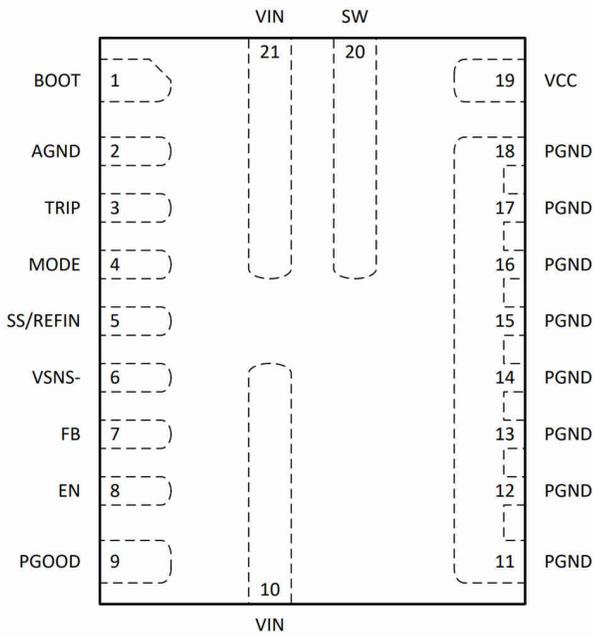


图 2. HotRod 封装示例 (顶视图)

布局比较

图 3 显示了增强型 HotRod QFN 封装的电路板布局。图 4 显示了 HotRod 封装的布局。评估模块按照典型的用户应用方式进行布局，顶层、底层和内层各使用 2 盎司铜。顶部接地布线连接到底部和内部接地层，并在电路板周围放置多个过孔组。在每种设计中，输入去耦电容器和自举电

容器全部放置在尽可能靠近 IC 的地方。为了限制噪声从输入电源进入转换器，使用了一个传统输入降压电容器，此外还将关键噪声敏感型模拟电路端接至顶层上的安静模拟接地岛。每种设计的布局非常相似，有助于更轻松检测两种封装之间的性能差异。

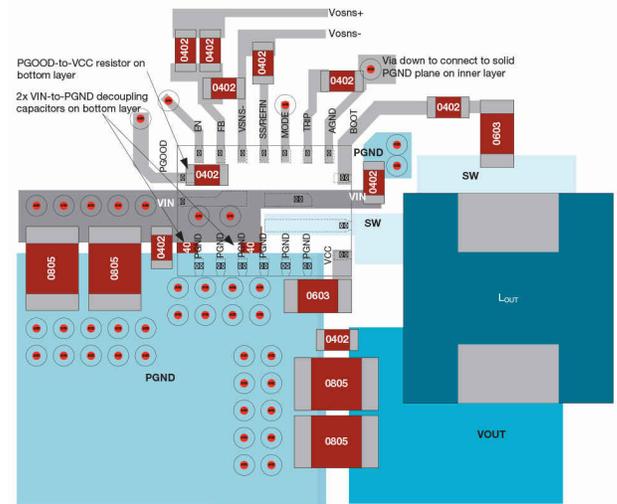


图 3. 增强型 HotRod QFN 封装布局

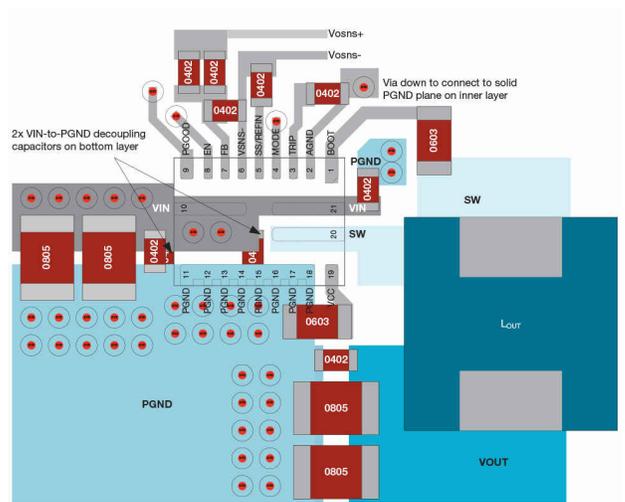


图 4. HotRod 封装布局

热性能比较

每个电路板均在 15A 电流下运行，当每种设计在同样的条件下运行时，测量了各自的 IC 温度。增强型 HotRod QFN 封装的 IC 温度为 70.3°C，如图 5 中所示。HotRod 封装的温度也是 70.3°C，如图 6 中所示。未观察到其他明显的差异。可以有把握地得出结论，两个封装示例之间的温度差异可能是由 IC 的批次间工艺变化引起的，如漏源导通电

阻 ($R_{DS(on)}$) 或开关频率。增强型 HotRod QFN 封装与 HotRod 封装相比, 在热性能上未带来任何改进或降级。

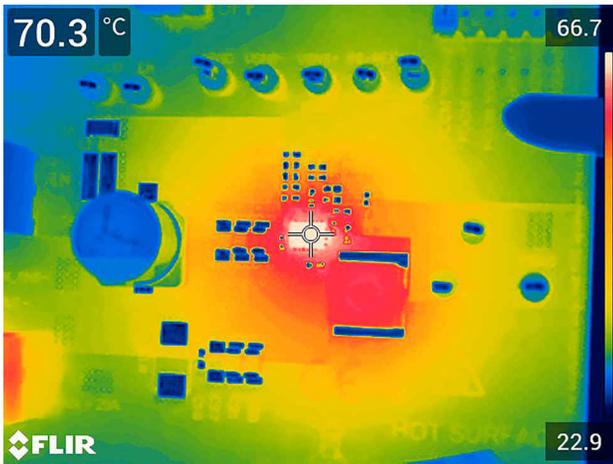


图5. 增强型 HotRod QFN 封装热性能图像

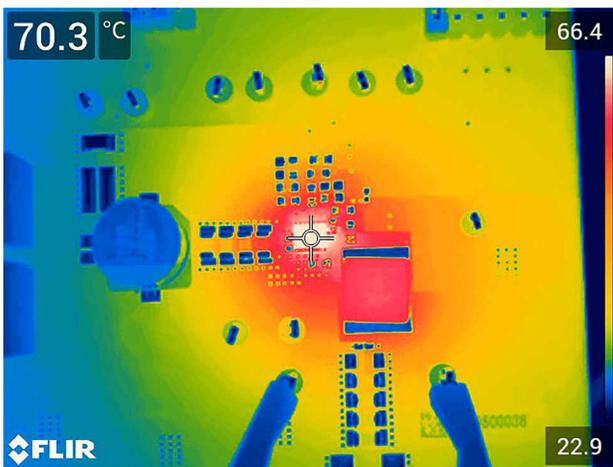


图6. HotRod 封装热性能图像

效率比较

表 1 比较了两种封装的效率和功率耗散情况。我们对每个器件的 VCC 施加了 3.3V 偏置电压, 以便消除内部线性稳压器所产生的任何损耗, 该稳压器负责为 IC 供电。线性稳压器损耗可能因批次间的工艺变化而异; 您可以施加外部 3.3V 偏置电压并获得最接近的效率比较结果, 从而消除这些损耗。每种封装的效率和功率耗散结果非常类似, 但 HotRod 封装设计的功率耗散低 50mW, 或效率高 0.2%, 这仅适用于 15A 电流情形, 可以忽略不计。增强型 HotRod QFN 封装未带来任何改进, 相比 HotRod 封装仅出现轻微的效率下降。

封装	IOUT (A)	效率	耗散 (W)
增强型 HotRod QFN 封装	5.0	90.1%	0.55
	10.0	89.6%	1.16
	15.0	87.2%	2.21
	20.0	84.6%	3.65
HotRod 封装	5.0	90.1%	0.55
	10.0	89.6%	1.16
	15.0	87.4%	2.16
	20.0	84.6%	3.65

表1. 效率比较: 12V 输入, 1V 输出

负载瞬态比较

在 20A 满载条件下, 或者从 0A 到 12A, 然后从 12A 到 0A, 以 0% 至 60% 负载阶跃执行了负载瞬态测试。上升负载阶跃具有 8A/μs 压摆率。在比较图 7 和图 8 中的瞬态响应波形时, 增强型 HotRod QFN 封装设计与 HotRod 封装设计非常相似, 由于负载瞬态, 仅在总输出电压过冲和下冲之间存在 1mV 的差异。与 HotRod 封装相比, 增强型 HotRod QFN 设计在负载瞬态性能方面的改进非常小, 几乎难以察觉。表 2 显示了结果。

封装	VIN	VOUT	FSW	负载阶跃	压摆率	峰值间电压
增强型 HotRod QFN 封装	12V	1V	600kHz	0 A 至 12 A	8A/μs	133.9 mV
HotRod 封装						134.8 mV

表2. 负载瞬态条件和结果

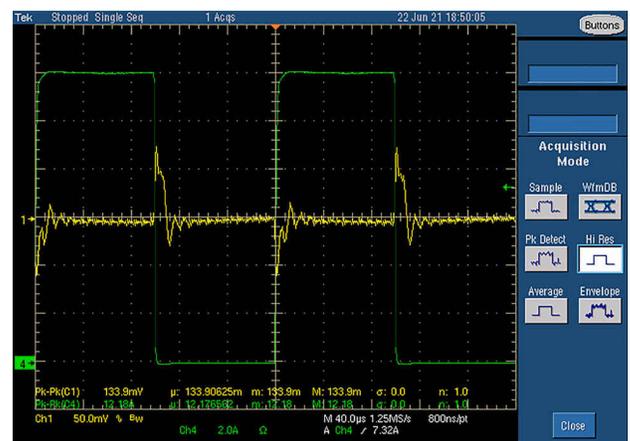


图7. 增强型 HotRod QFN 封装瞬态响应

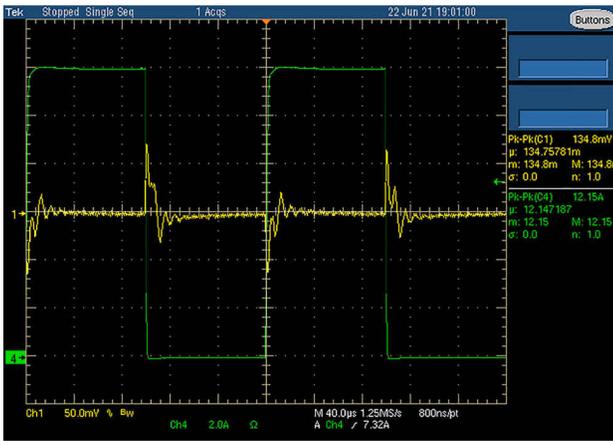


图 8. HotRod 封装瞬态响应

开关节点振铃比较

在观察电源高侧 MOSFET 的开关节点振铃时，可以看见寄生电感效应。仔细检查图 9 和图 10 后发现，增强型 HotRod QFN 封装设计的电压过冲比表 3 中显示的 HotRod 封装设计低 0.1V，这是显而易见的。很难确定电压振铃差异的来源，但可以放心地假设增强型 HotRod QFN 封装不会降低开关节点振铃性能。不过，有可能是增强型 HotRod QFN 封装的机械结构减小了 IC 的内部寄生电感，从而使得高侧 MOSFET 的开关节点振铃略有改进。

封装	VIN	VOUT	FSW	振铃
增强型 HotRod QFN 封装	12V	1V	600kHz	0.7 V
HotRod 封装				0.8V

表 3. 开关节点振铃条件和结果

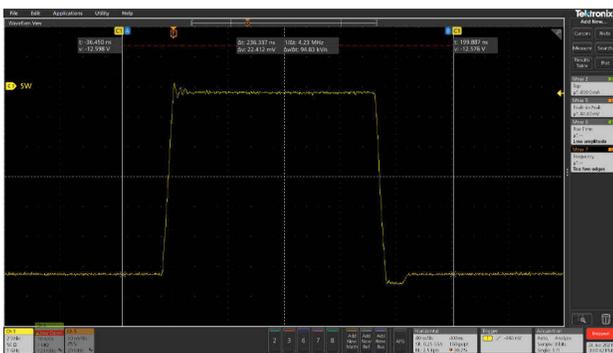


图 9. 增强型 HotRod QFN 封装高侧 FET 振铃

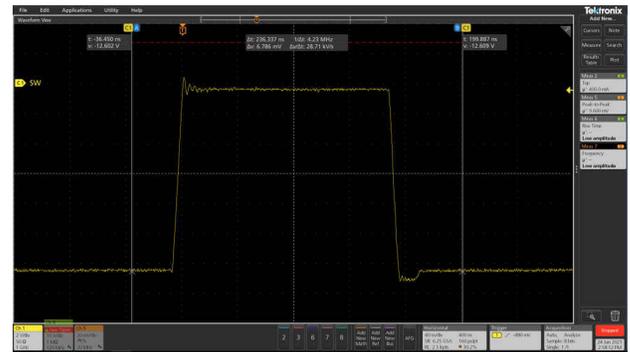


图 10. HotRod 封装高侧 FET 振铃

结论

在既定的工作条件下，与 HotRod 封装相比，增强型 HotRod QFN 封装的性能未出现明显下降。经过非常仔细的检查后发现，功率耗散会显示出 50mW 的差异，但仅在 15A 负载电流下如此。另一方面，增强型 HotRod QFN 封装可将开关节点振铃减少 0.1V 并将负载瞬态输出电压过冲和下冲减少 1mV，相对来说可忽略不计。表 4 汇总了结果。

封装	增强型 HotRod QFN 封装	HotRod QFN
15A 下的温度	70.3°C	70.3°C
效率差异	87.2% (15 A)	87.4% (15 A)
VOUT 过冲和下冲	133.9 mV	134.8 mV
振铃	0.7 V	0.8V

表 4. 结果摘要

鉴于变量过多，比较结果通常并无定论，因此新的封装技术往往会遭到质疑。不过，在此示例中，电路差异很小，测量结果也很相似。采用增强型 HotRod QFN 封装实现新型直流/直流转换器后，采用此封装进行设计便可作为一种低风险替代方案，帮助供应商解决封装内部产生的寄生效应问题。

增强型 HotRod QFN 封装提供了一种新颖的方法来改善集成电路的空间占用，可以实现更好的振铃性能，与其他现有封装技术相比，其布局布线可能更加友好、更加灵活。

附加资源

- [增强型 HotRod™ QFN 封装：在业界超小的 4A 转换器中实现低 EMI 性能](#)
- [HotRod QFN](#)
- [了解倒装芯片 QFN \(HotRod\) 封装和标准 QFN 封装的性能差异](#)

重要声明: 本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。建议客户在订购之前获取有关 TI 产品和服务的最新和完整信息。TI 对应用帮助、客户的应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不负任何责任。有关任何其它公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的认可、保证或授权。

HotRod™ and 增强型 HotRod™ are trademarks of Texas Instruments.
所有商标均为其各自所有者的财产。

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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司