

使用增强型 HotRod™ QFN 封装技术实现具有出色热性能的小型低噪电源模块



Denislav Petkov

德州仪器 (TI) 应用工程师

TI POWER

效率、尺寸和热性能之间的平衡是设计人员在涉及电源转换器和模块时通常需要考虑的重要因素。德州仪器 (TI) 的增强型 HotRod™ 四方扁平无引线 (QFN) 封装技术可支持工程师解决这些设计难题,并在设计中利用效率更高、热性能更出色且噪音更低的器件。

内容概览

本白皮书演示了增强型 HotRod™ QFN 封装技术如何解决电源转换器和模块的多种功率密度设计难题。

1 尺寸

集成裸硅并使用铜柱将芯片连接到引线框,这样可以降低封装寄生并节省 PCB 空间。

2 效率

通过放置高频旁路电容器和实现到裸片的直接铜连接,改善开关节点振铃并降低开关损耗。

3 散热

通过更大限度地增大与 PCB 的接触面积来促进热传递,从而解锁更高的工作环境温度范围。

4 噪声

借助裸硅、陶瓷电容器和改进的布线设计规则等特性,可更大限度地减少高 di/dt 环路。

卓越的直流/直流电源模块应该具有以下特性:小巧、高效、低噪且具有出色的热性能。小巧,所以应用中具有额外的布板空间。高效,所以电源转换可减少整个系统的散热量,这还可以解锁更宽泛的工作环境温度范围。低噪 - 意味着低噪音和低电磁干扰 (EMI) - 可避免影响其他电路的运行,并轻松满足 EMI 法规要求。

在直流/直流稳压器中平衡尺寸、效率、热量和噪音水平是一场持久的战斗,对于电源模块而言尤其如此。这种平衡在很大程度上取决于模块构造所使用的封装技术。TI 的增强型 HotRod™ 四方扁平无引线 (QFN) 封装技术可解决多种设计难题,使电源转换器和模块制造商能够在封装尺寸、效率、散热能力和噪声性能方面突破行业极限。

让我们来探讨设计电源模块时的一些难题,看看增强型 HotRod QFN 技术是如何解决这些问题的。

尺寸

如图 1 所示,一个典型的直流/直流模块可以在同一个封装中集成电源转换器集成电路 (IC)、功率电感器、一些旁路电容器和特性编程电阻器。

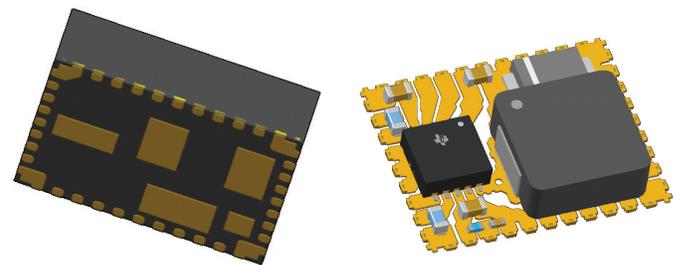


图 1。一个典型的电源模块,在一个标准的铜引线框上并排封装了硅片和电感器。

电源模块的总尺寸或“体积”在很大程度上取决于转换器的工作频率和磁性元件的尺寸。在高频下操作电源转换器可以降低对功率电感器的尺寸要求,但是会影响转换效率和散热。模块总面积还取决于

将 IC 和无源器件安装在引线框上的高密度布局将电感器覆盖在组件上面,以节省平面空间封装结构。能够集成功率电感器(使其跨越内部模块组件)的封装可节省所占面积,但要以提高整体封装高度为代价(图 2)。

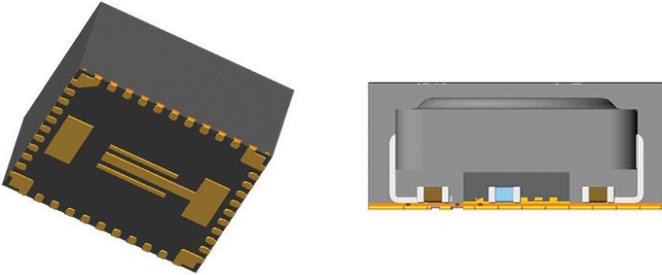


图 2.将电感器跨越内部模块组件放置的电源模块。

增强型 HotRod QFN 封装将裸硅集成到模块封装中,从而留下更大的空间来集成功率电感器、一些旁路电容器和特性编程电阻器。电感器和其他无源器件。从芯片到引线框的连接是

在芯片正下方通过铜柱实现的,而不是使用键合线进行连接。这将降低封装寄生电感并节省模块内部的空间(图 3)。

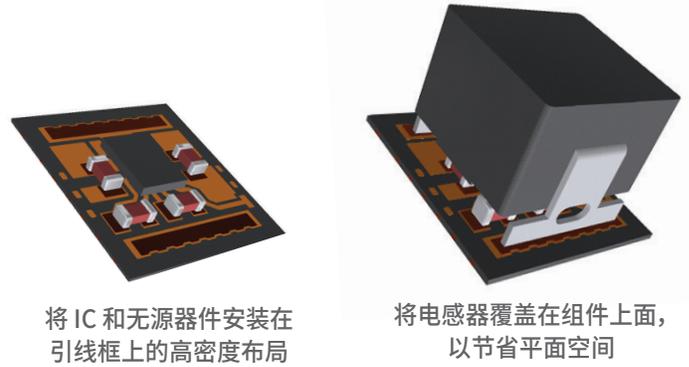


图 3.在一个增强型 HotRod QFN 模块内:高性能的 IC 裸片,旁路电容器和电感器位于各组件上方。

在标准铜引线框上安装带铜柱的裸硅并不是一项新的模块技术。然而,在采用增强型 HotRod QFN 的情况下,引线框可实现对用户非常友好的封装尺寸、在模块内部组件之间提供近乎完美的布线并优化热连接。另一个好处是可将电感器封装在其他组件上方,从而节省平面空间。最终可以得到一个集成了高频旁路电容器的紧凑模块结构(图 4)。

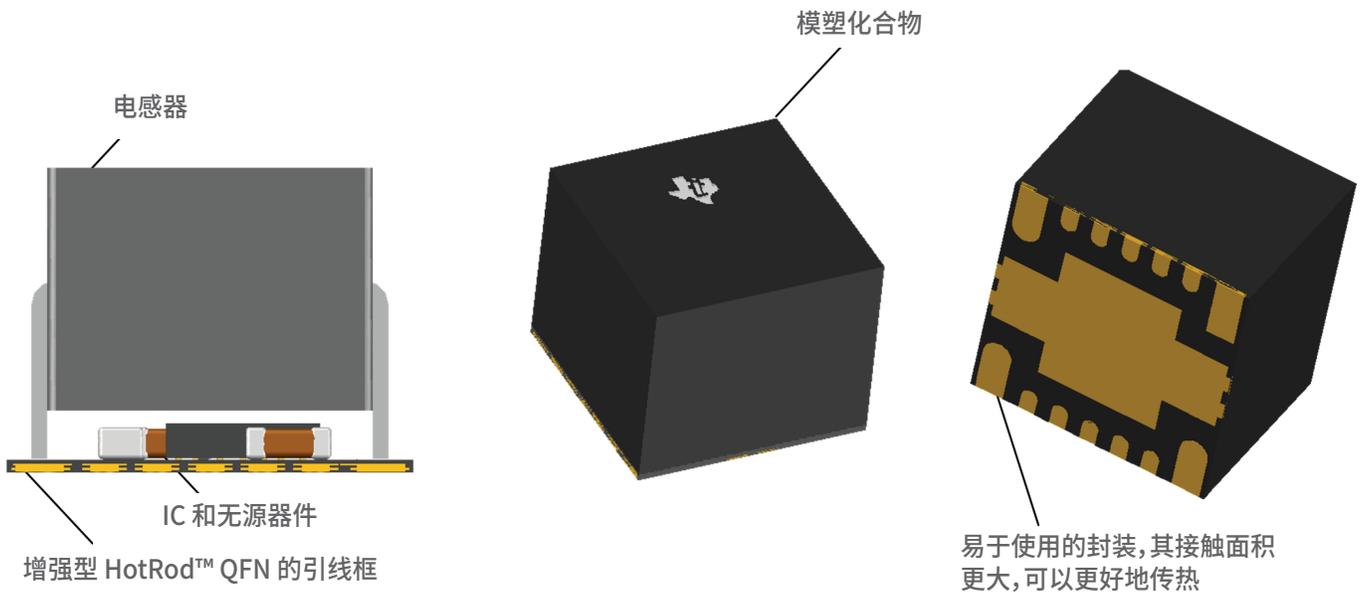


图 4.采用增强型 HotRod QFN 封装的电源模块示例。

效率

效率是电源转换器的一个重要规格。转换损耗主要发生在转换器 IC 和功率电感器中。这些损耗分为开关和传导两大类，且取决于 IC 工艺和电感器规格。并非所有的电源转换器 IC 都设计得完全一样。通过更优质的硅工艺（例如 $R_{DS(on)} \times$ 栅极电荷），可以在 IC 中实现开关损耗和传导损耗之间的更优化平衡。

您也可以选择以较低的开关频率运行转换器，以尽量减少开关损耗。但是，当转换器在较低的开关频率下工作时，功率电感器需要提供更高的电感。在相同的额定电流下，电感越高，所需的线圈匝数就越多，电感器的体积也就越大。我们所面临的挑战是，如何在减小整体尺寸并保持可行热性能的同时，实现比上一代转换器更好的效率。

集成高性能 IC 是实现出色效率的第一步。增强型 HotRod QFN 封装内部的 IC 通过铜柱连接到引线框上，从而降低了寄生电感。通过放置一个高频旁路电容器，

再加上到裸片的直接铜连接，大大改善了开关节点的振铃现象，降低了开关损耗。此外，该封装允许将电感器安装在其他组件的上方，这样便能在不增加封装总平面面积的情况下额外为电感器

提供一个放置区域。因为电感器对整体效率有很大的影响，这种两级封装方法允许您以更低的功率损耗集成一个更大尺寸的电感器（图 5）。

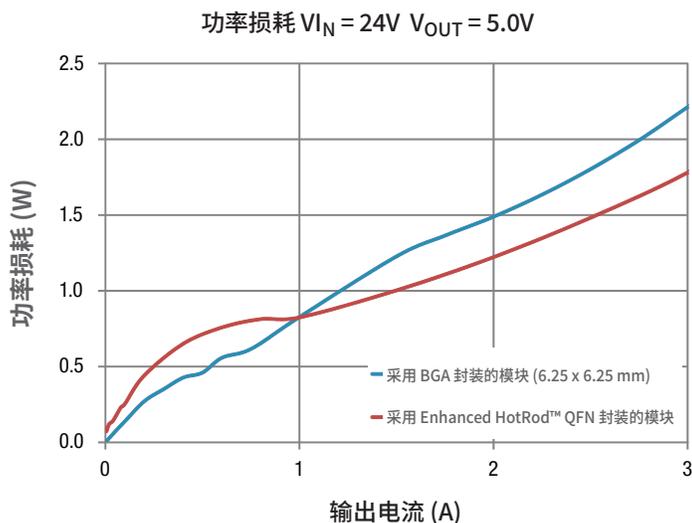


图 5.带并排电感器的 6.25mm × 6.25m 球栅阵列 (BGA) 封装与带置顶电感器的 5mm × 5.5mm 增强型 HotRod QFN 封装之间的功率损耗比较。

散热

热设计是电源转换器设计中不可避免的一个方面。没有转换器能够达到 100% 的效率。转换功率损耗将以热量的形式消散，必须加以妥善管理。转换器中产生的热量必须要能够传递到环境的其他部分，以便电源转换器保持在其安全工作区 (SOA) 内，且确保整个系统温度对于特定应用来说是可以接受的。最好是模块封装的热阻足够低，可将产生的热量散发到电路板和环境空气中。此外，封装的引脚排列应足够友好，以实现热可行性布局，而不会在散热路径中造成中断。考虑到所有主要的功率损耗组件都封装在一个模块中，热管理

可能会成为一个巨大瓶颈，影响模块提供所设计的功率输出的能力。借助增强型 HotRod QFN 封装，您可以在封装外形设计中更大限度地扩大与印刷电路板 (PCB) 的接触面积。更大的接触面积有助于进行热传递，因此热量可以消散到周围环境中，而不是使转换器超出热 SOA 范围。与类似尺寸的 BGA 型模块封装相比，增强型 HotRod QFN 封装模块与 PCB 的接触面积要大得多，如图 6 所示。这可以解锁一个更高的工作环境温度范围或增加同等大小转换器的输出功率。

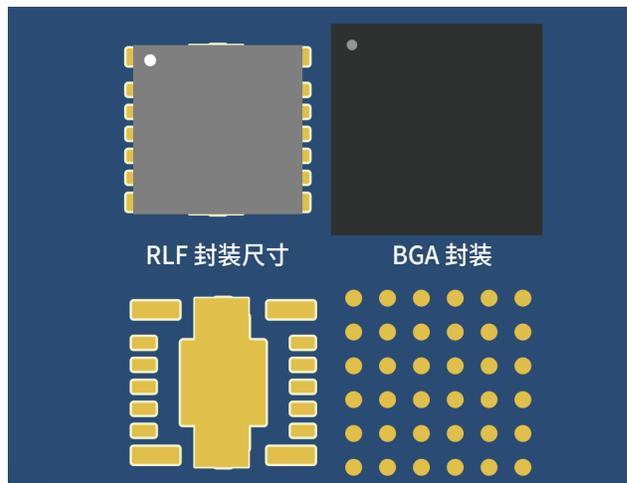


图 6. 5mm × 5.5mm 增强型 HotRod QFN 封装相较 6.25mm × 6.25mm BGA 封装的热接触面积优势。

此外,增强型 HotRod QFN 封装的外形简单,支持在模块下使用连续不间断的铜材(图 7),而不会在热路径上出现切口和中断。这进一步更大幅度地提高了电路板上的可用铜面积,从而实现适当散热。

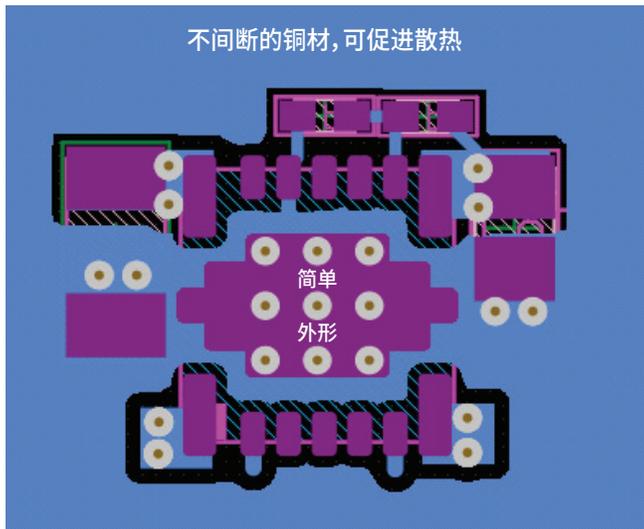


图 7.采用连续铜材的简单布局,可提供良好的散热设计。

噪声

由于开关操作、高瞬态电流 (di/dt) 以及封装和布局寄生效应,开关模式电源转换器可能会成为噪声发生器。噪声可能会影响该电源转换器旁边其他噪声敏感型电路的正常工作,因此每个产品都必须满足

应用相关的噪声限值(以 EMI 标准的形式)。

不同转换器所产生的噪声可能会有很大的差异。即使是同一个转换器,噪声水平也可能会因电路板布局布线和设计中所使用的组件而异。在较高的开关速度下(假设开关上升和下降时间更快),噪声的产生情况通常会更糟,并且这很大程度上取决于高 di/dt 环路中的寄生元件。

封装的寄生元件取决于封装结构、内部布线、所使用的内部组件以及最终的电路板布局布线。转换器封装

应尽量减少关键高 di/dt 环路中的内部寄生元件,并允许恰当的引脚排列,以正确放置旁路电容器。一些封装还可以集成高频旁路电容器,并使其尽可能靠近 IC。

尽可能减小开关稳压器中高 di/dt 电流环路的面积是降低噪声的关键第一步(图 8)。通过集成裸硅、陶瓷电容器和改进的布线设计规则,增强型 HotRod QFN 封装可在转换器设计中更大幅度地减少高 di/dt 环路。与标准铜引线框封装相比,增强型 HotRod QFN 结构的另一个优点是能够在 IC 和旁路电容器的正下方提供一个接地平面,从而降低开关噪声和输出噪声并改善 EMI。

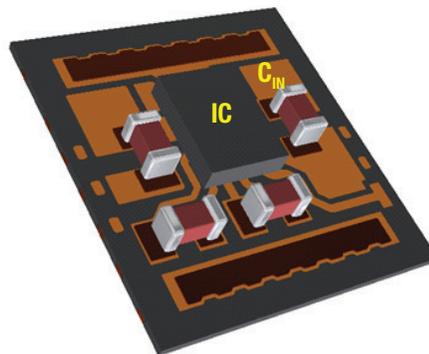


图 8.将高频旁路电容器放置在尽可能靠近芯片的地方,更大幅度地减小高 di/dt 环路面积。

总结

效率、尺寸、热性能和 EMI 性能之间的平衡给电源转换器设计人员带来了许多设计难题。增强型 HotRod QFN 封装技术支持电源模块制造商解决这些设计难题,并最终生产出更小巧、更高效、热性能更出色且噪声更低的电源转换器模块,从而得到易于使用且高度优化的电源转换器(如 TPSM53604),大大简化直流/直流转换器的设计过程。

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。TI 建议用户在下订单前查阅最新最全面的产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。发布有关任何其他公司产品或服务的信息并不构成 TI 批准、担保或认可这些信息。

HotRod 是德州仪器 (TI) 的商标。
所有其他商标均为其各自所有者的财产。

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122

Copyright © 2020 德州仪器半导体技术（上海）有限公司