



Sneha Nair, Dorian Brillet de Cande, Chris Glaser

摘要

缩小电源解决方案尺寸的趋势愈演愈烈，这要求对良好的热管理有更多的了解。这一趋势也提高了电源模块的普及率。通常，降压电源模块将主要功耗元件（电源开关和磁性元件）全部集成到一个封装中，从而实现更小的解决方案尺寸并简化开发。因此，除了 IC 损耗外，电感器直流电阻 (DCR) 产生的热量和磁芯损耗也会使封装的总功耗增加。与分立式模块（具有外部电感器）相比，在同样的工作条件下，该模块面临着以更小的表面积散发更多热量的挑战。电感器和 IC 的最高温度额定值都受限制，因此模块在较高工作环境温度下可以提供的最大输出电流存在限制。

例如，电源解决方案能否在不超过其最大推荐温度的情况下提供所需的负载电流？或应用在其最高温度下运行时的安全裕度如何？等问题很常见。通过了解数据表中的 SOA 曲线来评估电源模块的热性能或许能够解决这些挑战。

本应用手册讨论了主要热指标 $R_{\theta JA}$ 、 Ψ_{JB} 和 Ψ_{JT} ，并介绍了 SOA 曲线，以便您理解电源模块的热性能和输出电流能力，从而确保这些电源模块在建议的温度限制范围内运行。

内容

1 了解不同热指标.....	2
2 了解 SOA 曲线.....	3
3 如何创建 SOA 曲线.....	4
4 专为更优热性能而设计.....	5
5 总结.....	5

插图清单

图 1-1. 不同热指标.....	2
图 2-1. 安全工作区 (SOA) 曲线.....	3
图 2-2. 显示不同运行条件的 SOA 曲线.....	3
图 3-1. $V_{in} = 5V$ 且 $T_A = 85^\circ C$ 时的效率.....	4
图 4-1. 带外露散热焊盘的 TPSM82866A 封装.....	5
图 4-2. TPSM82866A 布局示例.....	5

表格清单

表 2-1. 运行条件示例.....	3
--------------------	---

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 了解不同热指标

德州仪器 (TI) 数据表提供了许多热性能值来量化特定器件的热性能。电源模块常用的热性能值是 $R_{\theta JA}$ 、 Ψ_{JB} 和 Ψ_{JT} 。下文介绍了将它们用于评估电源模块的基本方法，而**半导体和 IC 封装热指标**则详细阐述了不同的热指标。

方程式 1 使用 $R_{\theta JA}$ 计算在给定功率损耗下器件温度 (其结温) 从固定环境温度的上升值。当应用的环境温度受到控制时，将使用该公式和热性能值。

$$T_J = T_A + (R_{\theta JA} \times Power\ Loss) \quad (1)$$

方程式 2 使用 Ψ_{JB} 计算在给定功率损耗下器件温度从固定 PCB 温度的上升值。当应用的 PCB 温度受到控制时，将使用该公式和热性能值。尽管器件的所有功率损耗都不会进入 PCB，但 Ψ_{JB} 值会考虑这一点 (与 $R_{\theta JB}$ 值相反) 并得出简单的公式。

$$T_J = T_{PCB} + (\Psi_{JB} \times Power\ Loss) \quad (2)$$

方程式 3 使用 Ψ_{JT} 根据外壳顶部的温度计算器件温度的上升值，例如由热像仪测得。该公式和热值用于通过测量外壳温度来确定结温。即使器件的所有功率损耗都不会上升到外壳的顶部，但 Ψ_{JT} 值会考虑这一点 (与 $R_{\theta JC(top)}$ 值相反) 并得出简单公式。

$$T_J = T_{case_top} + (\Psi_{JT} \times Power\ Loss) \quad (3)$$

热性能不仅取决于器件本身，还取决于它所在的 PCB。电源模块的数据表有时会给出两组热性能值：一组用于标准 JEDEC PCB，另一组用于 EVM。与标准 JEDEC PCB 不同，EVM 采用了设计技术，可以更好地让 PCB 与电源模块协同工作，从而改善热性能。节 4 中讨论了这些技术。

图 1-1 显示了来自 JEDEC PCB 和 EVM 的这三个热性能值，用于 6A 电源模块 TPSM82866A。

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		TPSM8286xA		UNIT
		JEDEC 51-5	EVM	
		23 PINS		
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance	43.3	25.4	°C/W
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	34.3	n/a ⁽²⁾	°C/W
$R_{\theta JB}$	Junction-to-board thermal resistance	10.8	n/a ⁽²⁾	°C/W
Ψ_{JT}	Junction-to-top characterization parameter	3.6	2.4	°C/W
Ψ_{JB}	Junction-to-board characterization parameter	10.7	10.9	°C/W

图 1-1. 不同热指标

2 了解 SOA 曲线

图 2-1 显示了同一 TPSM82866A 电源模块的安全工作区 (SOA) 曲线。SOA 曲线显示了建议的最高温度与负载电流之间的关系，这可帮助您快速检查器件在散热方面是否适合特定应用。该特定曲线使用环境温度和 EVM 的 $R_{\theta JA}$ 值来确定安全工作区。使用这两个值，结合每个工作点的功率损耗，方程式 1 在 SOA 曲线中创建了边界线。6A 处的曲线顶部反映了根据器件的额定电流而建议的最大输出电流，而曲线的倾斜部分则反映了根据该工作点的功率损耗和由此产生的温升而建议的最大输出电流。在这些曲线范围内运行，以使器件保持在其额定结温范围内。

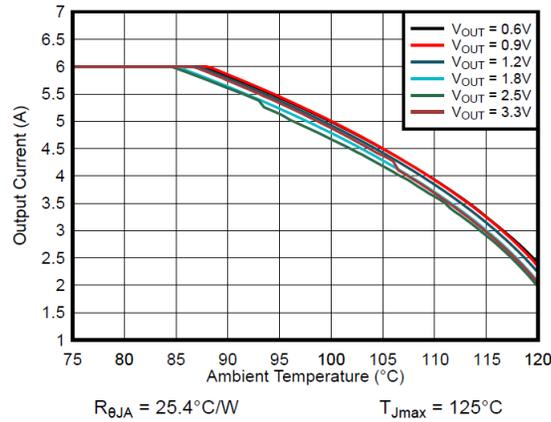


图 2-1. 安全工作区 (SOA) 曲线

表 2-1 显示了为 SoC 供电的两种运行条件，输入电压为 5V，输出电压为 1.2V。图 2-2 表明在升温环境中第一个运行条件 (红点) 在 SOA 曲线之外。第二个运行条件 (蓝点) 显示了在 SOA 曲线内运行的一种解决方案：降低输出电流。

表 2-1. 运行条件示例

运行条件 1	运行条件 2
环境温度：95°C	环境温度：95°C
输出电流：6A	输出电流：5A
不推荐	推荐

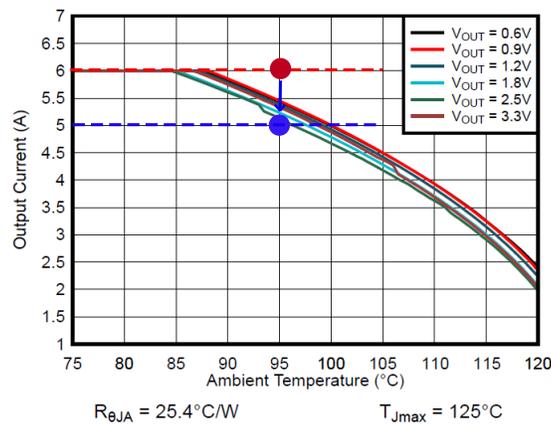


图 2-2. 显示不同运行条件的 SOA 曲线

降低输出电流的一种方法是降低 SoC 的处理速度。在 SOA 曲线内运行的另一种解决方案是降低最高环境温度或通过向系统添加气流来减小 $R_{\theta JA}$ 。

3 如何创建 SOA 曲线

SOA 曲线通常是根据在 EVM 上测得的效率数据创建的。根据 [方程式 1](#)，不同环境温度下的功率损耗会产生达到电源模块最高工作温度 125°C 所需的温升。

[方程式 4](#) 根据数据表的效率曲线计算功率损耗：

$$PoWer Loss = (V_{out} * I_{out}) * (1/\eta - 1) \quad (4)$$

高负载下的效率随着温度升高而降低，因此使用的是高温（例如 85°C）下的效率值。例如，[图 3-1](#) 显示了相同 5V_{in} 和 1.2V_{out} 条件下 85°C 时的效率曲线。在 5.5A 负载下，效率接近 84%，[方程式 4](#) 计算出的功率损耗为 1.25W。乘以 25.4°C/W R_{θJA} 得出 32°C 的温升。从 125°C 的最高温度中减去此值，得到最高环境温度为 93°C。因此，[图 2-1](#) 中的 SOA 曲线在 93°C 附近越过 5.5A。

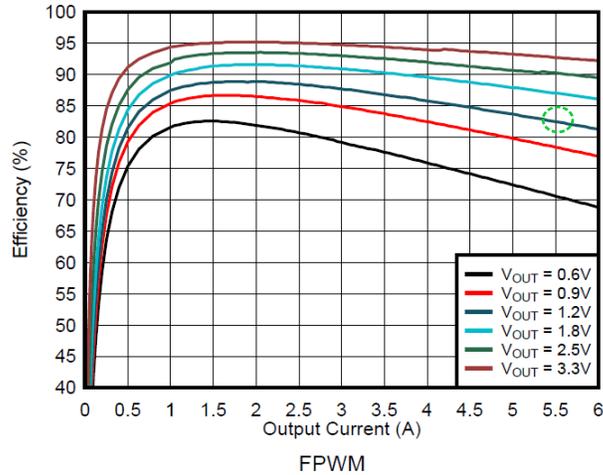


图 3-1. V_{in} = 5V 且 T_A = 85°C 时的效率

4 专为更优热性能而设计

$R_{\theta JA}$ 值是量化器件热性能的一项指标。 $R_{\theta JA}$ 值取决于电源模块的设计以及 PCB 的设计。封装下方设计有外部散热焊盘，允许器件通过多个接地过孔将热量散至 PCB 的多个接地层，从而实现良好的热性能。此外，具有可使较大铜平面连接到器件电源引脚（VIN、GND、VOUT）的引脚排列可降低 $R_{\theta JA}$ 值。图 4-1 显示 TPSM82866A 提供了一个大散热焊盘，而图 4-2 显示了引脚排列允许铜平面与电源引脚进行简单的连接。

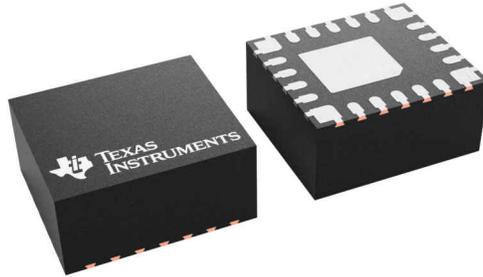


图 4-1. 带外露散热焊盘的 TPSM82866A 封装

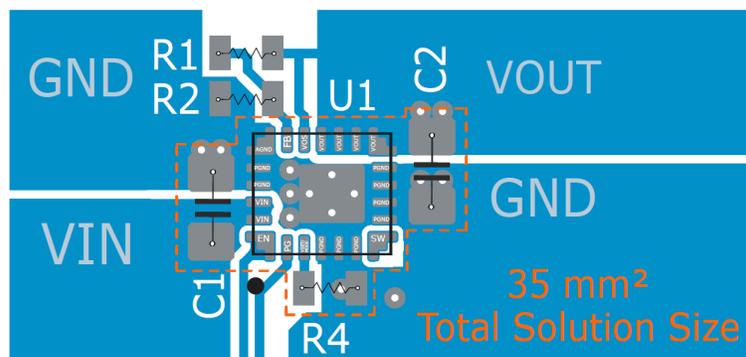


图 4-2. TPSM82866A 布局示例

将电源模块设计为具有良好的热性能后，还必须将 PCB 设计为可与电源模块有效地搭配使用，从而减小功率损耗。散热过孔应布置在散热焊盘下方，以将热量从电源模块传递到 PCB 内的各层。将多个过孔彼此靠近放置会降低 $R_{\theta JA}$ 值。但是，一旦在散热焊盘上放置了几个过孔，就会达到收益递减点，并且添加更多过孔通常不会明显降低该值。数据表布局示例或封装图中显示的过孔数量是实现良好热性能的一个良好起点。[高功率密度降压转换器的热性能优化](#)详细讨论了过孔对热性能的影响。

除了散热过孔，在多个 PCB 层上设置接地层并增加连接到器件电源引脚的铜面积有助于提高热性能。增加气流会使 $R_{\theta JA}$ 值大大降低。[改善 MicroSiP™ 电源模块的热性能](#)提供了有关通过散热过孔和额外的 PCB 层改善热性能的更多详细信息。

5 总结

电源模块中的功率损耗会增加，因此必须考虑在其热限值范围内运行。电源模块数据表提供了 SOA 图，可帮助您轻松评估热性能。良好的电源模块设计与良好的 PCB 设计相结合，可实现在大输出电流和高温下运行。

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