

优化 TPS546xx 布板，实现更高散热性能

作者: *Brian King*

电源管理产品部

摘要

本应用报告将讨论 TPS5461x 系列 6 安培同步降压稳压器各种板面布局技术的散热性能。TPS5461x 系列包括 TPS54610、TPS54611、TPS54612、TPS54613、TPS54614、TPS54615 以及 TPS54616。TPS54610 具有可调节的输出电压，而该系列其他器件的输出电压则是固定的。本应用手册还适用于 TPS54672 跟踪稳压器。我们[a03891171]讨论的问题包括如何使用散热通孔，PWB 上铜线的用量，PowerPAD™ 的焊点，以及环境条件等。

目录

1 引言.....	2
2 测试电路说明.....	2
3 散热通孔.....	5
4 接地层.....	7
5 其他因素.....	9
6 PowerPAD 焊点	11
7 结论.....	12

图目录

图 1. 测试电路原理图.....	3
图 2. 顶层板面布局.....	4
图 3. 测试电路组件功耗.....	4
图 4. 散热通孔布局.....	5
图 5. PWB 截面视图	6
图 6. 散热通孔布局比较（带有两个接地层）	6
图 7. 散热通孔布局比较（带有一个接地层）	7
图 8. 接地层与散热通孔布局 B 的比较.....	8
图 9. 铜用量不同的两层电路板.....	9
图 10. 铜用量对 SOA 的影响.....	9
图 11. 气流对 SOA 的影响.....	10
图 12. 3.3-V 输入情况下的 SOA	11
图 13. POWERPAD 未焊接情况下的 SOA.....	12

表目录

表 1. TPS5461x 系列汇结	2
表 2. 测试板的热阻抗.....	8

1 引言

电子电路板的散热管理可能相当复杂，通常需要了解系统中的各主要热量消耗器件及环境条件，还要掌握一定的理论计算知识，此外还要运用一定的猜测。本应用报告的目的是避免在 TPS5461x SWIFT™ 系列同步降压稳压器的设计工作中进行猜测。本报告中提出的结果也适用于 TPS54672 跟踪稳压器。

TPS5461x 系列器件可通过 3 至 6 伏的输入电源提供 6 安培以上的连续输出电流。表 1 给出了 TPS5461x 系列所有器件的总结。本产品系列中的器件采用 28 引脚的 TSSOP PowerPAD™ 封装。正是由于采用了 PowerPAD 封装，才使 TPS5461x 能够以如此小的尺寸实现如此高的输出电流。我们将封装底部暴露的引线框架直接焊在 PWB 上，这样 PowerPAD 封装的结至环境热阻就大大低于相当尺寸的标准封装。由于 PWB 起 PowerPAD 封装散热片的作用，因此 TPS5461x 的散热性能取决于 PWB 的布局。

表 1. TPS5461x 系列汇总

器件	输出电压
TPS54610	可调节
TPS54611	0.9
TPS54612	1.2
TPS54613	1.5
TPS54614	1.8
TPS54615	2.5
TPS54616	3.3
TPS54672	跟踪

2 测试电路说明

测试板根据设计可显示不同板面布板技术及环境条件下的散热效果。本报告中所有散热测试均采用相同的电子电路。图 1 给出了测试电路的示意图，包括 TPS54615 及其相关的外部组件。

不管输入电压及负载电流多大，TPS5461x 系列中任何器件的功耗几乎都是一样的。因此，我们可用 TPS5461x 系列中的任何其他器件来代替 TPS54615，结果都会得到几乎相同的散热效果。尽管所有测试均采用 TPS54615 完成，但结果适用于整个 TPS5461x 以及 TPS54672 系列。

本报告中评估的所有测试板的大小、铜重量及顶部布板都一样。每块板长 3 英寸，宽 3 英寸，顶层及底层为 1.5 盎司铜厚，内层为 0.5 盎司铜厚。顶层布局见图 2。不同测试板的差异之处包括 U1 下的散热通孔布局、地平面层的数量、板背面铜料的用量、PowerPAD 的焊点连接质量以及环境条件等。

对所有系统来说，明确功耗的主要来源并量化有关组件造成的功耗都是非常重要的。散热测试电路中有两大功耗来源：TPS54615 (U1) 及输出电感 (L1)。图 3 显示了上述组件的功耗。

由于测试电路中电感的值相对较高，因此 ac 纹波电流与 dc 电感电流相比要小。在这种情况下，电感损耗的主要部分是 dc 导通损耗，独立于输入电压与开关频率。电感损耗相对于 TPS54615 的损耗而言要小，但仍会造成电路板温度的升高，因此也就相应造成 U1 结温的升高。

TPS54615 造成的功耗是测试电路板功耗的主体。图 3 显示了 5 V 及 3.3 V 输入电压情况下 TPS54615 的损耗。输入电压较低情况下损耗较高，因为较低的驱动电压增加了集成 FET 的漏-源电阻。U1 的损耗随裸片温度的升高也会略微增加。图 3 所示的 TPS54615 的损耗发生在结温为 125°C 时，这是最差条件下的情况。结温较低，功耗也较小。器件的开关损耗相对于传导损耗而言极低，因此开关频率对 IC 功耗的影响极小。本报告中所有接受评估的测试板都采用 550 kHz 的开关频率。

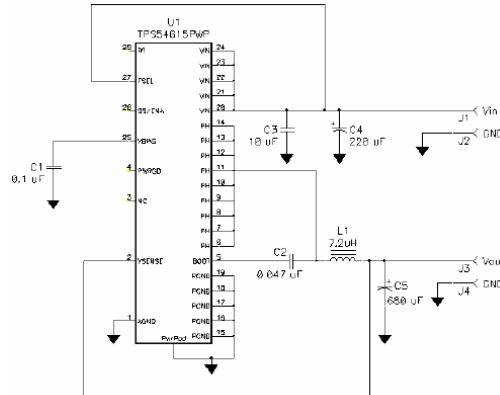


图 1. 测试电路原理图

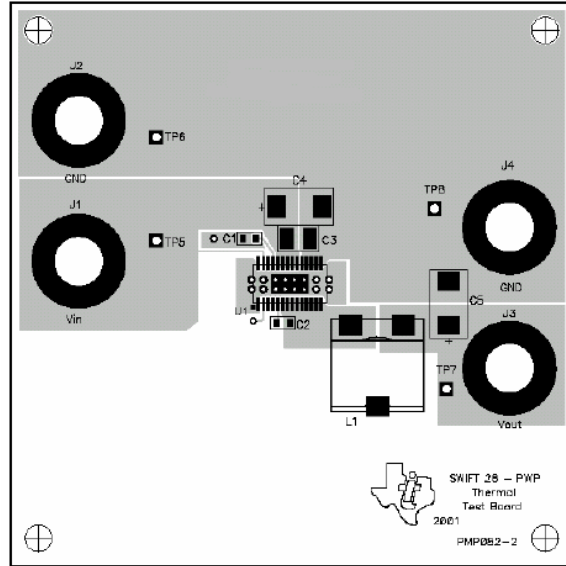


图 2. 顶层板面布局

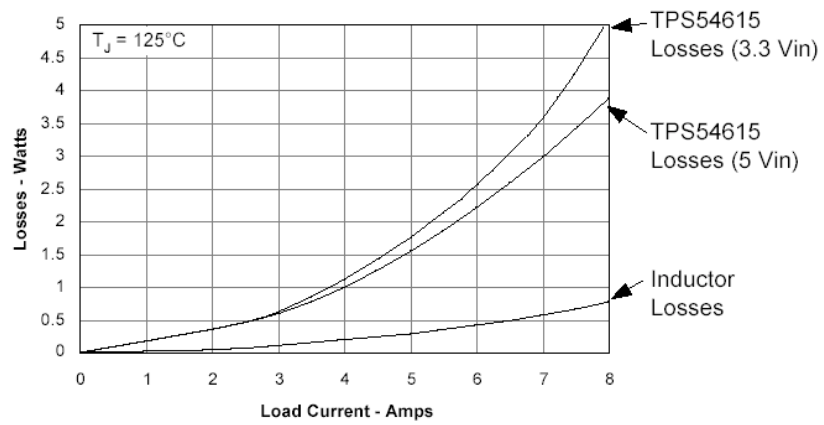


图 3. 测试电路组件功耗

3 散热通孔

U1 下方及附近的通孔有助于散去裸片的热量。这有效地降低了 TPS54615 结至环境热阻。我们评估了四种不同的散热通孔布局，如图 4 所示。每种布局都包含 8 个直径为 13 mil（0.3302 毫米）的散热通孔，在 PowerPAD 的正下方，此外还有为数不等的直径为 18 mil（0.4572 毫米）的通孔位于 PowerPAD 附近。

这些散热通孔在 PWB 顶层连接至直接焊接于 PowerPAD 上的铜制层。散热通孔还连接到 PWB 底层（背面）上的接地层。一些测试板还包括内部层上的接地层。这些内部接地层也连接于散热通孔，作为 IC 的散热片。图 5 所示的截面图就是散热通孔与接地层之间的连接。

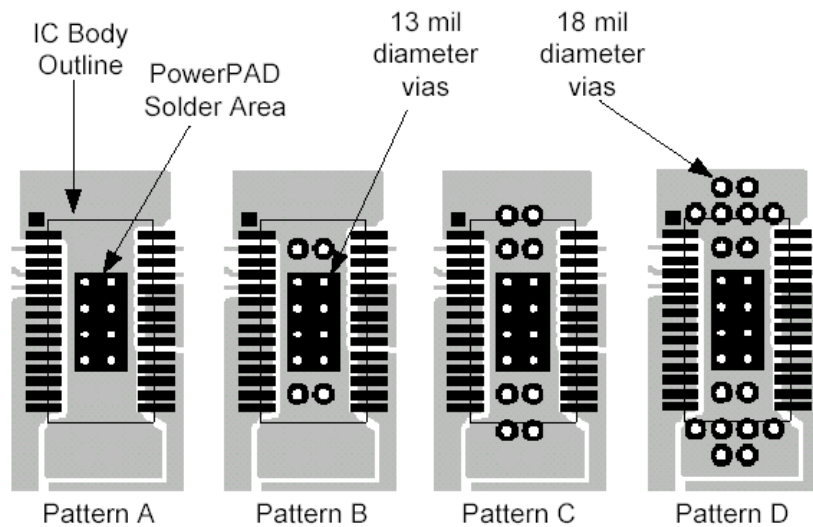


图 4. 散热通孔布局

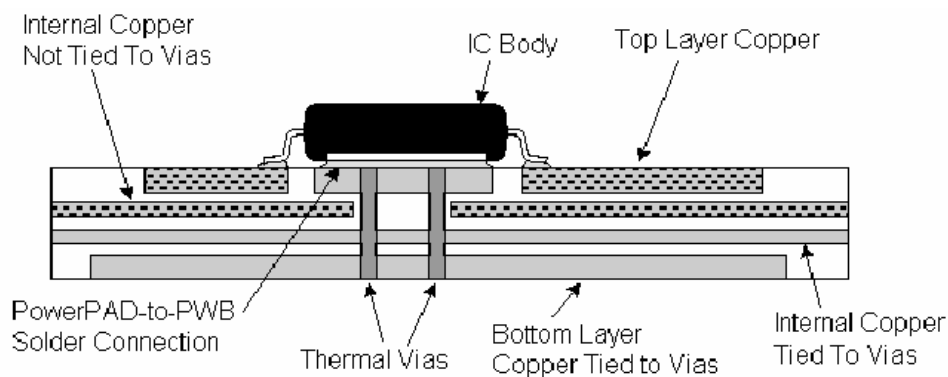


图 5. PWB 截面视图

图 6 显示了 5 伏输入及 25°C 环境温度条件下不同散热通孔布局的结温与负载电流情况。我们用带有两个内部接地层的多层板进行测试，得到如图 6 所示的结果。与此相对照，我们用带有一个内部接地层的多层板进行测试，所得的相同信息如图 7 所示。利用小型高效的散热片，流过散热通孔的热量较小。因此，散热通孔对结温的影响也降低。

就散热通孔的数量而言，存在效用递减的规则。随着散热通孔数量的增加，每个新散热通孔对 IC 结温的影响不断减小。TPS5461x 的产品说明书推荐散热通孔布局 B（图4）。这种散热通孔布局与 IC 本身占用的板级空间基本相当，同时还可降低界面至环境的热阻。如果板级空间允许的话，可增加额外的散热通孔，特别在环境温度更高的情况下更是如此。

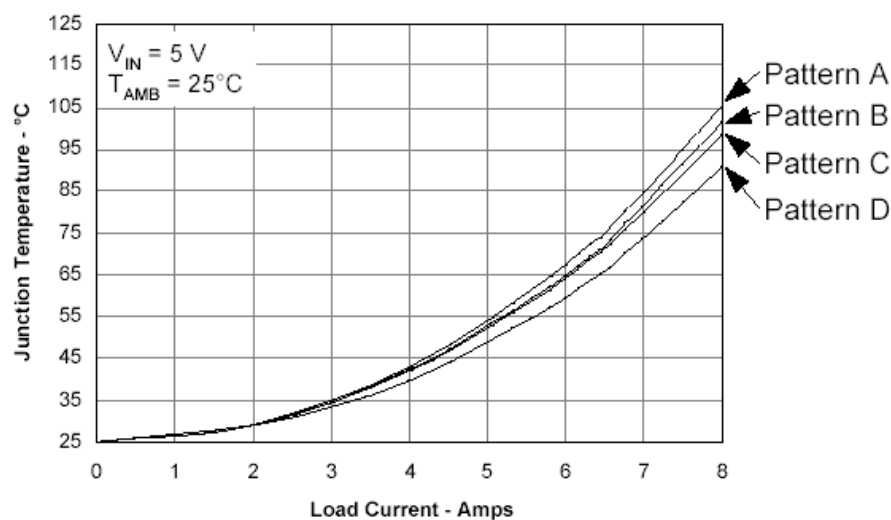


图 6. 散热通孔布局比较 (带有两个接地层)

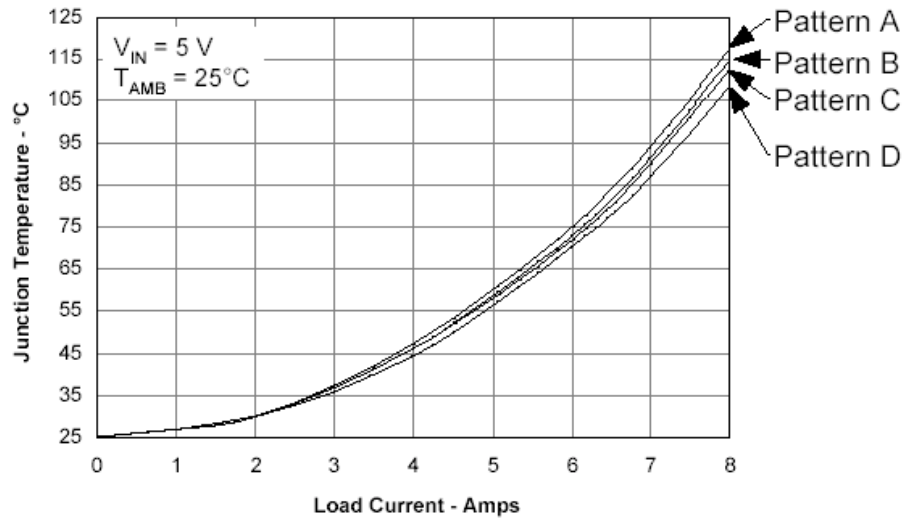


图 7. 散热通孔布局比较 (带有一个接地层)

4 接地层

铜料的用量以及 PWB 中接地层的数量在降低 IC 结温方面发挥重要作用。我们增加直接连接到散热通孔上的铜料的用量，就可降低结温。图 8 显示了散热通孔布局 B 情况下使用不同用量的铜的效果。使用一个接地层与使用三个接地层是不同的，在负载电流为 8A 的情况下，两者结温相差近 25°C。采用较大的单接地层或较大的铜重量，也可降低结温。重要的是应该记住，测试板尺寸只有长宽各 3 英寸这么一点大，这比大多数应用都要小得多。

从散热的角度说，最坏的情况是电路板背面铜量有限的两层板。图 9 比较了背面（底层）铜量不同的两层板的结温。图 9 中的电路板均采用散热通孔布局 B。板背面 9 平方英寸的面积全部覆盖铜时，结温在电流为 6 安培情况下仅为 70°C。与此相对比，如果仅覆盖 1 平方英寸的铜，那么在 6 安培情况下结温达到 84°C。在上述两种情况下，如果负载电流有 6 安培，那么结温都大大低于 125°C 的最高限制。不过，在环境温度为 25°C 情况下，如果铜覆盖面积仅为 1 平方英寸，那么该板的最大限制电流不超过 7.4 安培，这是因为散热片不充足造成的。

如果环境温度升高，在连接于散热通孔的铜用量不足的情况下，TPS54615 的 125°C 最大结温可限制最大负载电流，如图 10 所示。在图 10 中，我们看到四个不同测试板的安全操作范围图 (SOA)。SOA 是一种环境温度图，反映了给定负载电流下达到 125°C 结温的环境温度。图 10 中所有测试板都采用散热通孔布局 B。结果显示，在环境温度低于 60°C 情况下，所有测试板在 6 安培电流条件下都工作良好。

我们通过找到图 10 所示的各测试板的接面至环境热阻近似值，也可总结出铜料的用量对散热性能的影响，如下表 2 所示。尽管 PS5461x 产品说明书指出有关器件是 6 安培转换器，但只要结温不超过 125°C，在负载电流超过 6 安培时工作就没问题。此外，我们必须注意保证输出电感不会因为电流及温度升高而达到饱和。

内部接地层数	底层上的铜制区域	结面至环境的热阻 (°C/W)
2	3 英寸 X 3 英寸	18.2
1	3 英寸 X 3 英寸	20.5
0	3 英寸 X 3 英寸	24.0
0	3 英寸 X 3 英寸	29.0

表 2. 测试板的热阻抗

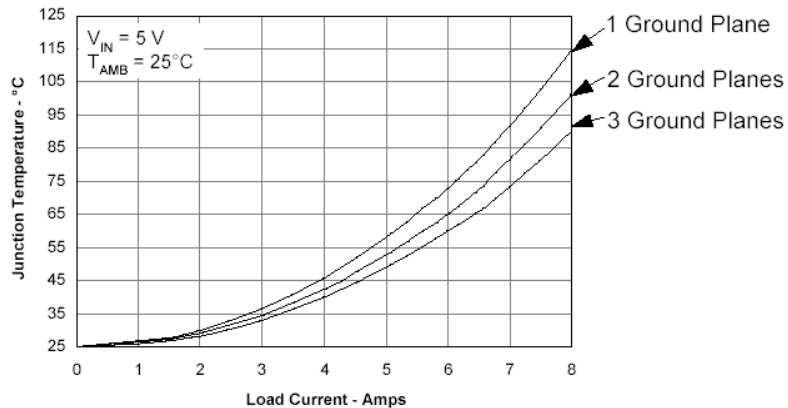


图 8. 接地层与散热通孔布局 B 的比较

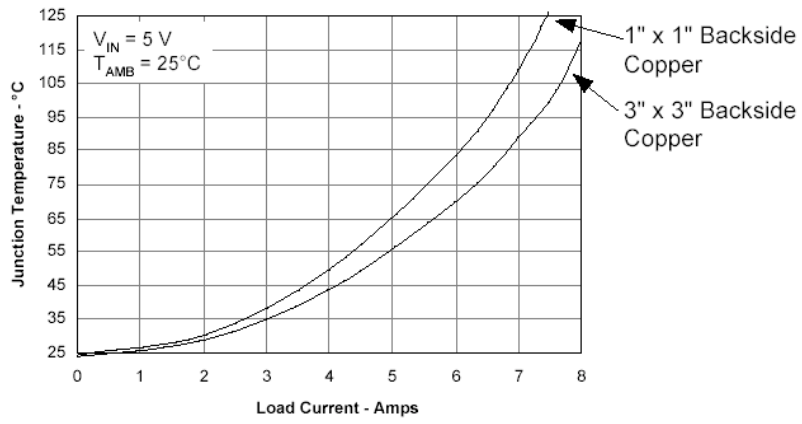


图 9. 铜用量不同的两层电路板

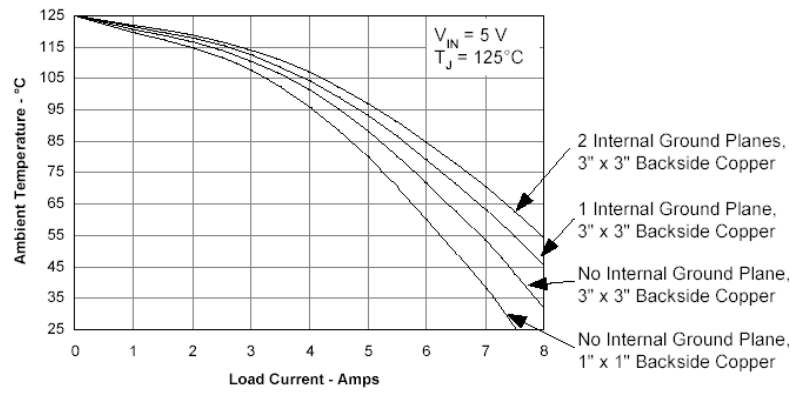


图 10. 铜用量对 SOA 的影响

5 其他因素

当然，许多其他因素都会影响到 TPS5461x 器件的散热性能，如气流、输入电压，以及系统其他组件产生的热量等。

显然，气流速度越快，就越有利于 TPS5461x 器件的散热。为了最大化强制通风冷却系统的效率，应避免阻碍 TPS5461x 附近的气流。图 11 显示了采用 200-LFM 气流来帮助冷却 TPS54615 的效果。如图 11 所示，我们采用两层测试板，其背面覆盖 1 平方英寸的铜。这个例子表明，在铜用量最低的情况下，TPS54615 可在环境温度为 80°C、负载电流为 6 安培的条件下工作。

如果输入电压降低，则 TPS5461x 的内部 MOSFET 驱动电压有限。正由于此，MOSFET 的漏-源电阻值会随着输入电压的降低而升高。这样，输入电压越低，功耗及结温就越高。图 12 显示了这种效果，在该图中，与图 10 所示相同的测试板采用 3.3 V 输入，并给出 SOA 的情况。在 3.3 V 输入的情况下，如果负载电流超过 6 安培，那么当环境温度超过 50 °C 时，铜的用量就将变得至关重要。

其他散热较多的系统组件也会升高电路板的温度，同时也会升高 TPS5461x 的结温。对整个系统进行散热分析是相当繁重的，也不属于本应用报告的范畴。作为一般原则，主要的散热器应分散放置，使热量在板上发散。如果 TPS5461x 工作良好，完全处于 SOA 内，那么其他散热源就不会是什么问题。如果某些系统中 TPS5461x 工作时接近 SOA 的极限，那么我们可能需要进行系统级散热测试，这取决于系统的安全及可靠性要求。

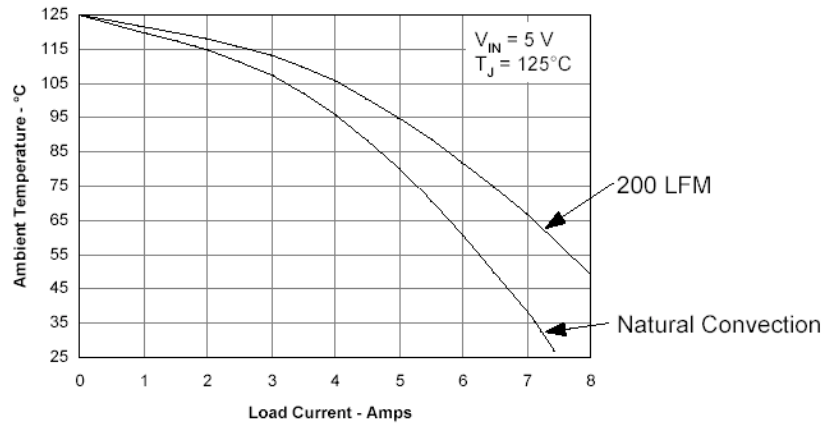


图 11. 气流对 SOA 的影响

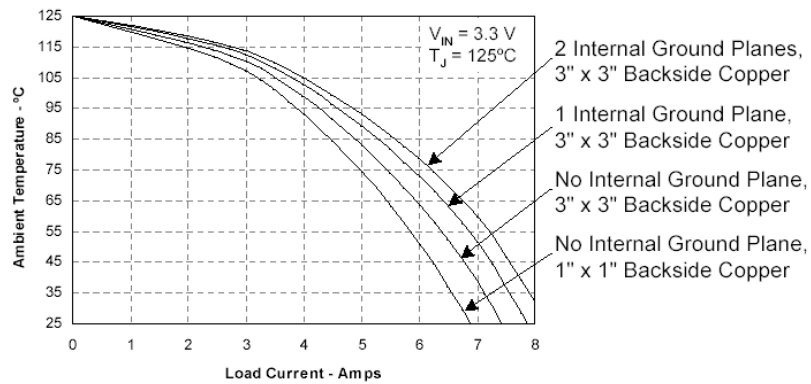


图 12. 3.3-V 输入情况下的 SOA

6 PowerPAD 焊点

PowerPAD 使 TPS5461x 能以小型封装提供 6 安培的负载电流。为了提供 6 安培的额定电流，PowerPAD 必须具备良好的焊点，这是至关重要的。TPS5461x 的大部分功耗都通过 PowerPAD 传给 PWB。如果 PowerPAD 焊点不良，那么就会提高电路板与 PowerPAD 之间的热阻抗，还会迫使更多热量流过 IC 引线。其他研究表明，为实现适当的散热性能，覆盖 PowerPAD 的焊料必须至少覆盖 50%。

图 13 显示了 PowerPAD 上无焊点的效果。如果 PowerPAD 未焊接，那么板上铜的用量对 SOA 的影响就不太大。在 PowerPAD 无焊接点的情况下，环境温度为 85°C 时，最大限制电流为 3.7 A。

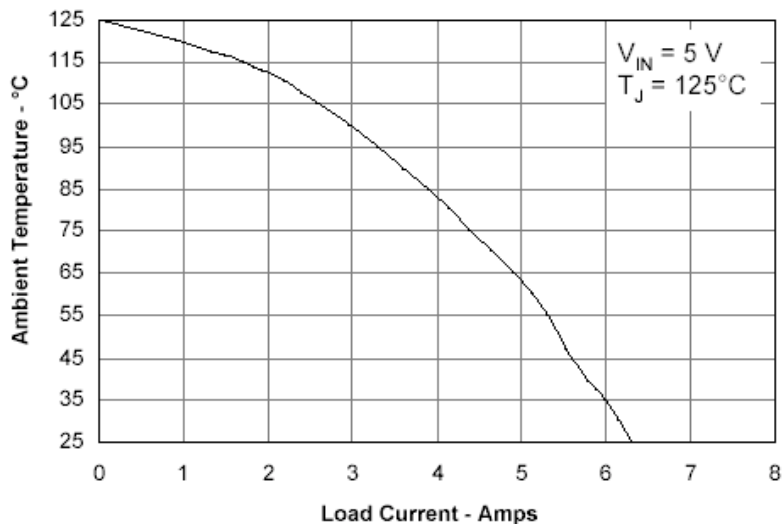


图 13. PowerPAD 未焊接情况下的 SOA

7 结论

许多因素均会影响 TPS5461x 器件的散热性能。本应用手册给出的测试结果可在大多数应用中用作预测 TPS5461x 散热性能的指南。具体而言，上述 SOA 曲线及热阻对确定设计所需的最小铜用量相当有用。下表总结出了最大化 TPS5461x 散热性能的设计窍门。

- 使用器件产品说明书推荐的焊盘图形 (land pattern)。
- 如果空间允许的话，使用更多的散热通孔。
- 保证 PowerPAD 具有良好焊点。
- 尽可能增加通过散热通孔连接至 PowerPAD 的铜用量。
- 如果 PWB 采用强迫通风冷却，请保证通过 TPS5461x 的气流不受阻碍。
- 使其他主要散热组件的位置尽可能彼此远离。

重要通知

德州仪器 (TI) 及其子公司保留随时纠正、修改、增强、改进其产品与服务、进行其它变动以及终止任何产品或服务的权利，恕不另行通知。下订单前，客户应了解最新的相关信息，并确保所获取信息的及时性与完整性。所有产品的销售均受在订单确认时 TI 所提供的销售条款与条件的约束。

根据 TI 的标准担保原则，TI 担保其硬件产品的性能符合销售时的适用规范。测试与其它质量控制方法仅适用于 TI 认为符合相关保证原则的范围。除非政府强制要求，无需测试每种产品的任何参数。

TI 不负责提供应用帮助，也不对客户产品设计负责。客户对采用 TI 组件的各自产品与应用负责。为最大限度地降低客户产品及应用相关的风险，客户应提供适当的设计与操作保护。

无论明示或暗示，在其任何专利权、版权、屏蔽作品权 (mask work right) 或与采用了 TI 产品或服务的任何集成、机器或工艺相关的知识产权中，TI 均不担保或表示给予任何许可权。TI 公开的、有关第三方产品或服务的信息不得视为 TI 许可使用这种产品或服务，也不得视为 TI 的任何保证或授权。该信息的使用应根据第三方的专利或其它知识产权获得许可，或者需要根据 TI 的专利或其它知识产权获得 TI 的许可。

只要在没有任何改动并且附带全部相关保证、条件、限制及通知的情况下，才能从 TI 的数据文件或数据表中复制信息。在改动情况下复制相关信息是不正当而且是欺骗性商业行为。TI 对修改后的文件不负任何责任。

如果产品或服务的再销售带有 TI 明示无效的、超出产品或服务相关参数的说明，或者附带的说明超出了相关暗示保证，则属不正当的欺骗性商业行为。TI 对此类说明不负任何责任。

您可从以下 URL 获得有关其它 TI 产品与应用解决方案的信息：

	产品		应用范围
放大器	amplifier.ti.com	音频	www.ti.com/audio
数据转换器	dataconverter.ti.com	车载系统	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	宽带	www.ti.com/broadband
接口产品	interface.ti.com	数控	www.ti.com/digitalcontrol
逻辑产品	logic.ti.com	军事领域	www.ti.com/military
电源管理	power.ti.com	光网络	www.ti.com/opticalnetwork
微控制器	microcontroller.ti.com	安全性	www.ti.com/security
		电话系统	www.ti.com/telephony
		视频与成像	www.ti.com/video
		无线应用	www.ti.com/wireless

通信地址：Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright ©2005, Texas Instruments Incorporated

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	amplifier.ti.com	Audio	www.ti.com/audio
Data Converters	dataconverter.ti.com	Automotive	www.ti.com/automotive
DSP	dsp.ti.com	Broadband	www.ti.com/broadband
Interface	interface.ti.com	Digital Control	www.ti.com/digitalcontrol
Logic	logic.ti.com	Military	www.ti.com/military
Power Mgmt	power.ti.com	Optical Networking	www.ti.com/opticalnetwork
Microcontrollers	microcontroller.ti.com	Security	www.ti.com/security
		Telephony	www.ti.com/telephony
		Video & Imaging	www.ti.com/video
		Wireless	www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments
Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265