Innovative dual-side cooled 5x6 PQFN package

Application considerations for best usage

关于本文档

范围和目的

本应用说明介绍了用于 **OptiMOS™ 技术 MOSFET** 的 **SuperSO8** 双面散热封装解决方案。

提供了用于中压应用的双面散热、底部散热和顶部散热封装之间的散热差异基本信息；特指 5x6 PQFN 封装。此外，还提供了一些用例研究，基于热仿真和热测量，在系统层面上显示了双面散热相较于底部散热的优势。

目标受众

熟悉热阻概念，但希望进一步了解相关信息的初级系统和硬件工程师以及 DC-DC 转换器、开关模式电源 (SMPS) 和电动工具驱动应用设计师。

希望进一步了解双面散热 MOSFET 的优势及用例的高级系统和硬件工程师以及 DC-DC 转换器、SMPS 和电动工具驱动应用设计师。

目录

关于本文档 1
目录 2
1 简介 3
2 产品说明 5
2.1 产品结构 8
2.2 相关产品参数 9
3 产品性能 10
3.1 热性能 10
3.1.1 出色的热性能 10
3.1.2 应用中的热性能——仿真 13
3.1.2.1 静态仿真 16
3.1.2.2 动态仿真——负载阶跃 17
3.1.2.3 动态仿真——交替负载 18
3.1.3 应用热性能——测量 20
3.1.3.1 电信砖转换器 20
3.1.3.2 开关模式电源 21
3.1.3.3 电动工具 23
3.1.4 热性能——结论 24
3.2 机械性能 24
3.2.1 抗压测试 24
3.2.2 弯曲测试 26
3.2.3 机械仿真 27
3.2.4 机械仿真——设置 27
3.2.5 机械仿真——结果 28
3.2.6 机械性能——结论 30
3.3 最大电流 30
3.3.1 最大电流——计算选项 30
3.3.2 最大电流——结论 32
4 顶部散热——最佳实践 33
4.1 双面散热结构 33
4.2 PCB 上的封装焊接 33
4.3 通孔结构 34
4.4 热界面材料 34
4.5 散热器连接 35
5 Spice 模型 36
6 垂直电流传导 37
7 总结 39
8 参考文献 40
8.1 应用说明参考文献 40
8.2 其他参考文献 40
修订记录 41

1 简介

随着 AC-DC 和 DC-DC 转换器对功率密度要求的提高，我们化被动为主动，从纯粹保护硅芯片的封装转变成为新产品提供实际优势。事实上，我们可以通过两种方式提高功率密度：第一种方式是使用新型硅技术，使单位面积 $R_{DS(on)}$ 更低，品质因数 (FOM) 更高，从而减少功率损失。第二种方式是根据器件本身的损耗改善散热。在这种情况下，封装技术起着至关重要的作用。

近年来，大部分 MOSFET 制造商已经能够对硅芯片进行更有效地散热。当涉及到中压 MOSFET 应用时，最常用的封装之一即 5x6 PQFN (SuperSO8)。该封装应用广泛，主要具备以下优势：结构极简，热性能和电性能方面效率极高（如低寄生和热特性），高可靠性（具有机械稳定性，为芯片提供良好的保护）。



图 1. 5x6 PQFN 封装发展历程

图 1 显示了常用于中压应用的 5x6 封装技术的发展历程，从最初的无外露焊盘 SO8 到双面散热 SuperSO8。

评估芯片功率耗散效率的一个重要参数为热阻 R_{th}；该值越低，耗散器件中因损耗而产生热量的能力就越强，因此，该值是显示封装帮助器件在较低温度下运行的重要参数。在采用 5x6 PQFN 封装的情况下，热量从功率所在的结散发到环境中共存在两条可能路径：朝下和朝上。在第一条路径中，由于面积小，侧面散热可以忽略。因此，当从热阻的角度判断封装技术时，存在两个相关值：

a) $R_{thJC（顶部）}$：从结到封装顶部的热阻
b) $R_{thJC（底部）}$：从结到封装底部的热阻

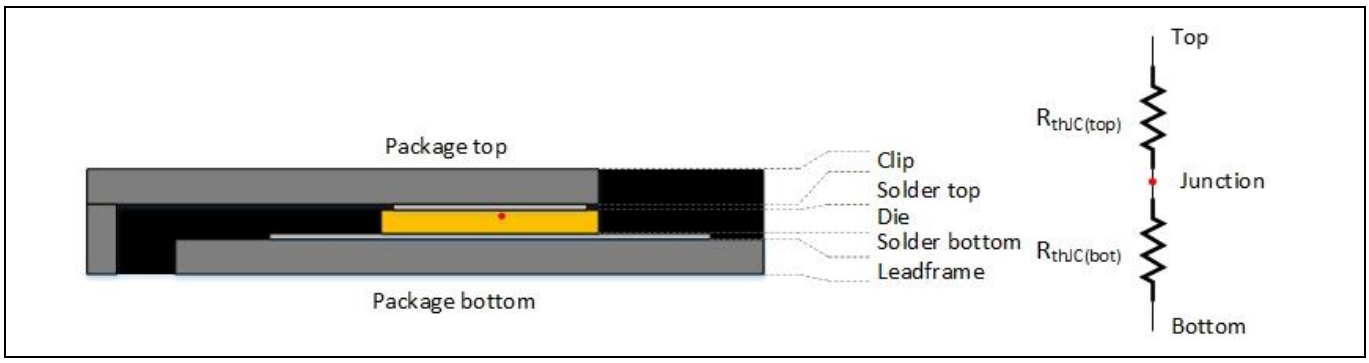


图 2. 热阻位置

图 2 显示了采用铜夹的现代 PQFN 封装简化的电气等效热网络，以上所列出的热阻代表了散热的主要路径（图片未按比例放置）。$R_{thJC（顶部）}$ 由硅芯片、顶层焊料和夹子组成；$R_{thJC（底部）}$ 由硅芯片、底层焊料和引线框组成。

简介

表 1.　不同封装技术的热阻比较

封装	$R_{thJC（顶部）}$ [K/W]	$R_{thJC（底部）}$ [K/W]	定义
SO8	10 到 20	10 到 20	
SuperSO8	10 到 20	0.5 到 5	底部散热
SuperSO8 双面散热	0.7 到 5	0.5 到 5	双面散热

表 1 显示了三种不同封装技术数据表中报告的典型值。由于热阻的定义、热阻的测量方法和器件特性有所不同，这些数字可能因制造商而异。最重要的是热阻本身的数量级。这些数字有助于我们对不同类型的散热方法进行分类；在撰写本文时，5x6 封装中热阻的典型值介于 0.5 到 5 K/W 之间。

从结到顶部和从结到底部热阻较低的封装符合双面散热标准。此处，“低”表示低于 5 K/W 的值。

如果一个封装中其中一条路径的热阻远低于另一个（1/10 被认为是“低”），则称其为顶部散热或底部散热。

上述数字清楚表明，若想提高功率密度，设计师应该使用双面散热器件，因为与 SuperSO8 相比，从结到顶部的热阻优势相当明显，大约低五倍。

本应用说明表明，如此大的差异并不总是在应用中反映出同样大的改进。此外，在某些情况下，改进与热阻无关，而是与热动态性能有关。换言之，两种解决方案——SuperSO8 底部散热却和 SuperSO8 双面散热——虽然在应用中提供近似的热阻，然而在热电容方面却大不相同。

2 产品说明

英飞凌科技为 MOSFET 散热提供了多种不同选择。图 3 显示了为 5x6 封装和其他尺寸所设计的各种 SMD 封装技术组合。因此客户能够根据自身需求选择最合适的封装解决方案。

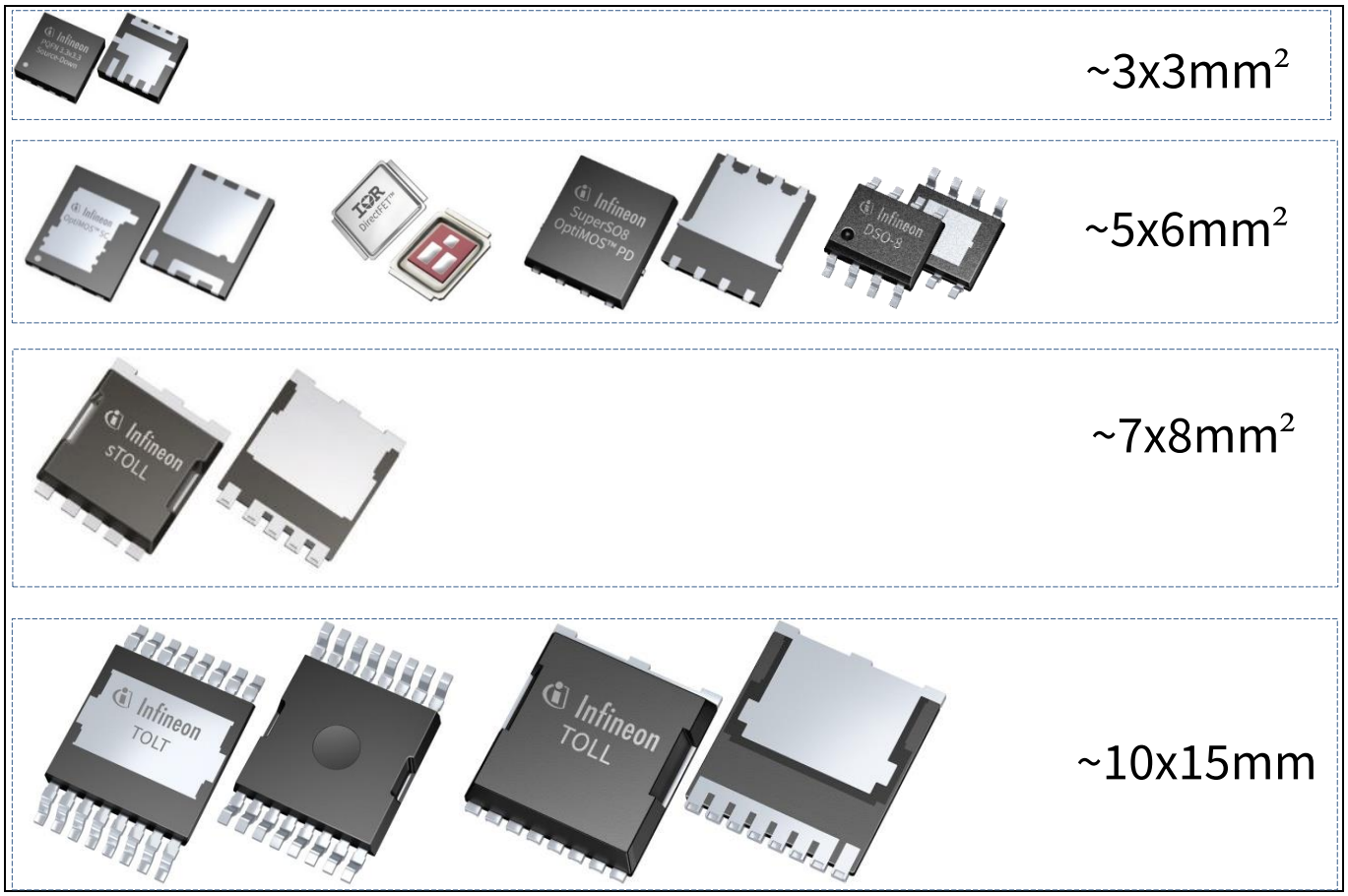


图 3. 不同 SMD 散热封装选项

我们可以选择使用 5x6 PQFN 双面散热作为 5x6 PQFN 底部散热（标准 SuperSO8）的功率密度助推器。图 4 显示了如何将底部散热和双面散热的焊盘图案统一起来，使其能够兼容两种封装。这一特性使客户能够在不同封装技术之间无缝切换。如果客户想要增加电源或转换器的功率密度，只需简单将底部散热替换为双面散热，并添加一个散热器即可，从而帮助客户满足需求。

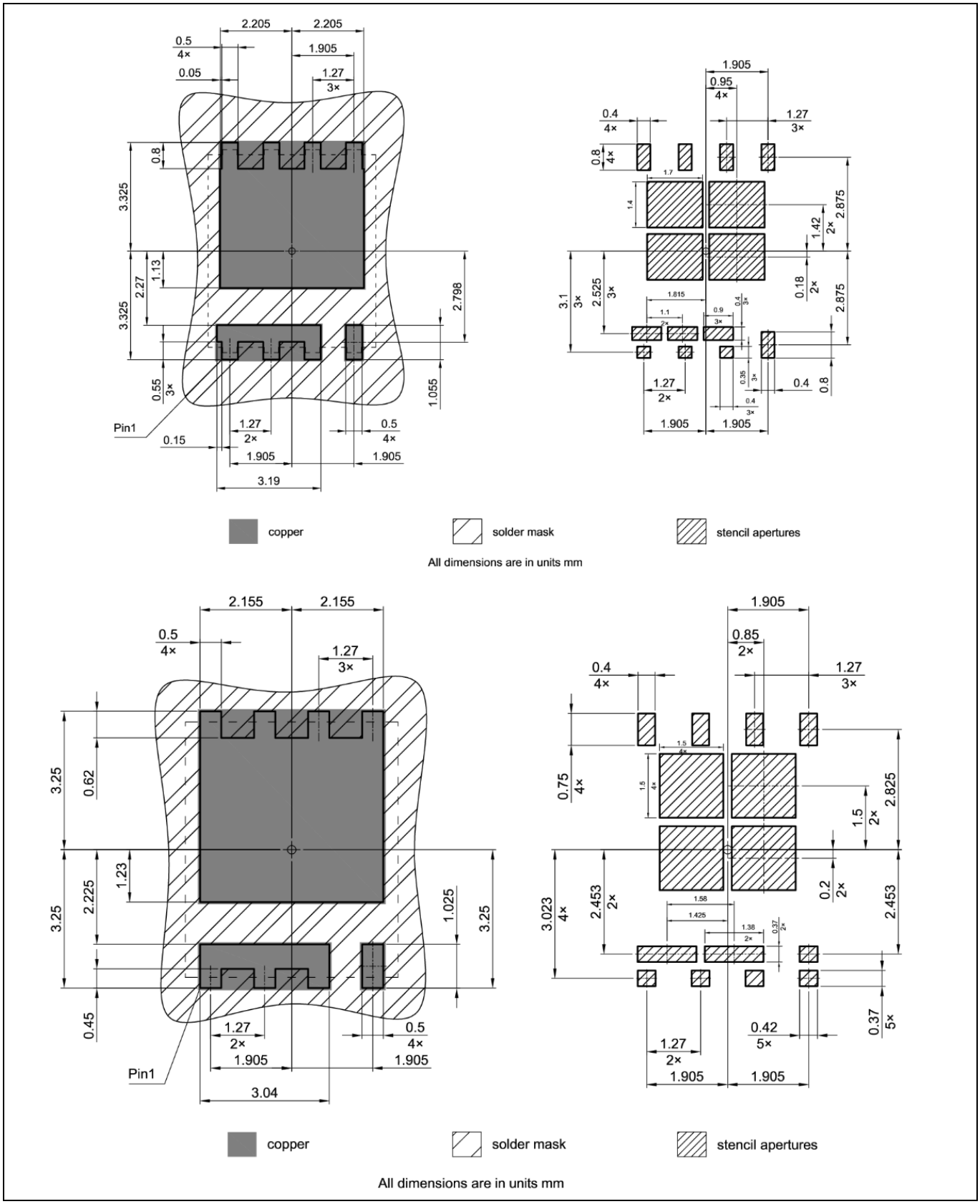


图 4.　　封装尺寸、焊盘和模板开孔（顶部：底部散热，底部：双面散热）

产品说明

表 2. 产品组合

$R_{DS(on)}$ [mΩ] （最大值）	V_{DS} [V]	5x6 PQFN 底部散热	5x6 PQFN 双面散热
0.7	40	BSC007N04LS6	BSC007N04LS6SC
0.9	40	X	BSC009N04LSSC
1.4	60	BSC014N06NST	BSC014N06NSSC
1.6	60	BSC016N06NST	BSC016N06NSSC
2.8	60	BSC028N06NST	BSC028N06NSSC
2.3	80	X	BSC023N08NS5SC
3.3	80	X	BSC033N08NS5SC
3	100	X	BSC030N10NS5SC
4	100	BSC040N10NS5	BSC040N10NS5SC
7	100	BSC070N10NS5	BSC070N10NS5SC
9.3	150	BSC093N15NS5	BSC093N15NS5SC
11	150	BSC110N15NS5	BSC110N15NS5SC
16	150	BSC160N15NS5	BSC160N15NS5SC

如果需要将器件轻松地从底面散热切换到双面散热，不仅需要考虑是否拥有相同的封装尺寸，而且还要考虑产品组合的兼容性（如 **表 2** 所示）。事实上，每一个底部散热器件均有一个相应的双面散热器件，其电气特性完全相同。这对于需要在新设计评估和验证过程中对产品进行鉴定的客户来说是一个巨大优势。如果采用一对一替换，则仅需对基于双面散热的新解决方案进行热验证，因为在底部散热鉴定过程中已对电气性能进行了评估。

在 PCB 布局阶段，双面散热产品和底部散热产品之间应该考虑的唯一差异为高度差异。事实上，双面散热的典型高度在 0.5 mm 范围内，而底部散热的高度更多在 1 mm 范围内；封装制造过程是造成这种较低高度的部分原因，下文对该过程进行了简要描述。然而，制造过程并不是唯一的因素。事实上，我们可以采用一种略微不同的方法：例如，插入不同厚度的夹子或补偿金属层，从而达到 1 mm 的最终高度。

出于以下原因，没有使用该解决方案。首先，底部散热和双面散热之间的高度兼容性并非一个特定要求。例如，在 SMPS 中，仅将部分同步整流器件从底部散热改为双面散热，且仅增加散热器而不替换其他部件，这有悖常理，可能会限制散热器的高度。具体而言，具有相同功能的 MOSFET 在运行时要求相同；因此，不太可能发生双面散热和底部散热器件混合使用的情况，因而也不可能出现不同高度的混合使用。

此外，在夹子和封装顶部之间插入一个金属层，同样是为了满足 1 mm 的厚度，但却降低了器件的热阻性能。再观察 **图 2** 后，我们就能够得出明确的结论。从结到顶部的热阻呈函数变化，与夹子的不同几何特性有关。最相关的因素为芯片和封装顶部之间的距离。距离越大，结和组件顶部之间的热阻就越大。因此，在夹子和封装顶部之间插入一个中间层以补偿高度差，会损害新封装技术中的一个关键参数。

最后，英飞凌科技决定使用后缀“SC”对双面散热产品进行标识，以区别于芯片技术和封装类型。

2.1 产品结构

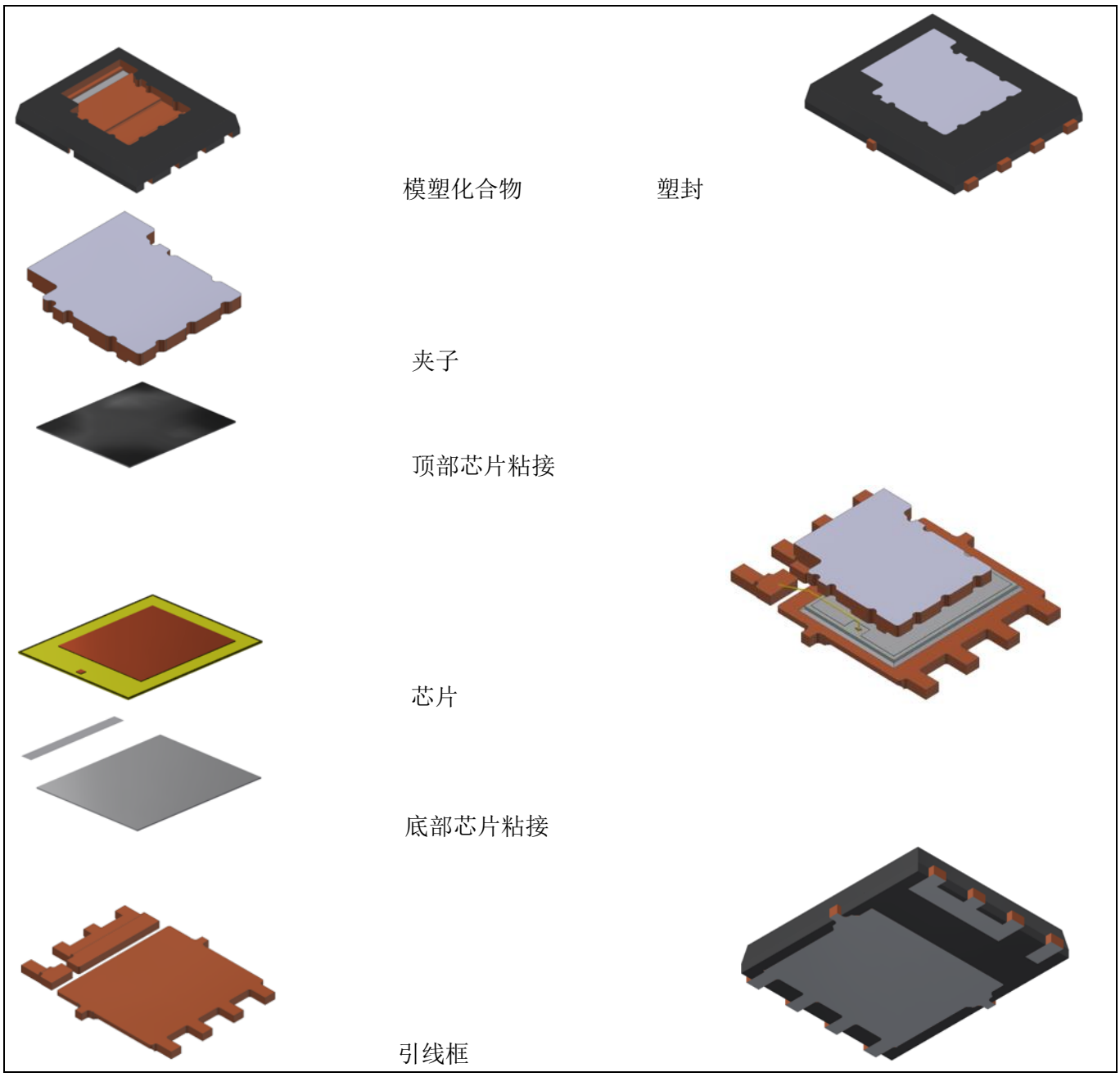


图 5. 双面散热产品结构——组合方式（左），最终结果（右）

图 5 展示了产品结构。其基础技术与底部散热技术相同，包括以下部分：用于支撑芯片的引线框架、芯片粘接、芯片钝化和开口、夹子粘接和塑封。

如果结构非常相似，出于以下原因，生产组件的过程会更加复杂。第一个原因，暴露在封装顶部的夹子并非看起来那样简单。夹子必须从模塑化合物中突出，否则散热器可能无法连接夹子。第二个原因，在采用底部散热的情况下，夹子的主要作用是提供器件源极连接，将电流从器件顶部引入底部。在双面散热解决方案中，夹子不仅具有实现硅芯片源极和封装引脚源极之间的低电阻连接功能，而且还具有创造良好散热路径的功能。虽然在通常情况下，考虑电流传导和热传导会产生针对于两者的最佳解决方案。但在某些情况下，不同的优化优先级会产生不同的解决方案，例如简化生产流程。在采用双面散热的情况下，钝化层

产品说明

中连接夹子的开口要最大化，这样才能使器件顶部的热传导达到最佳状态；与底部散热相比，由于生产步骤不同，使得生产过程更加复杂。

2.2 相关产品参数

由于双面散热的电气性能与底部散热的相同，所以热阻为其最重要的参数。英飞凌科技致力于顶部散热路径的设计，从而最小化 $R_{thJC（顶部）}$ 值。

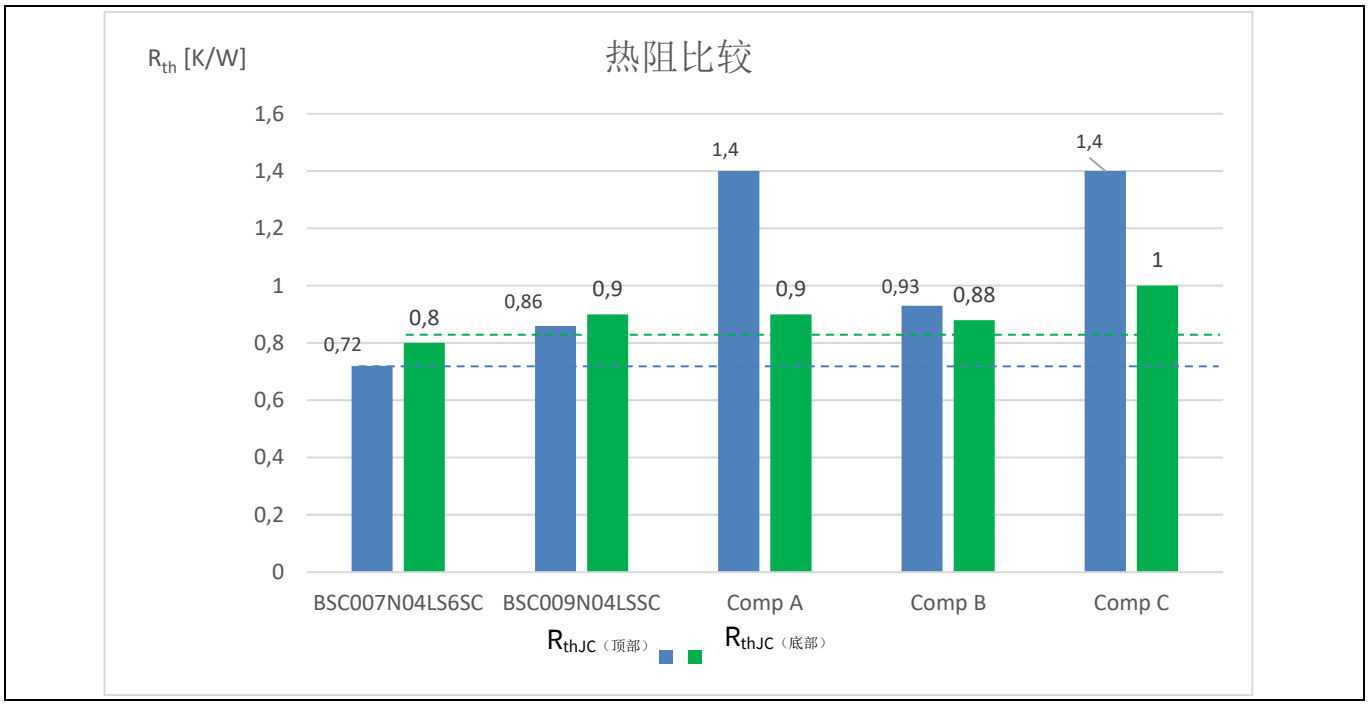


图 6. 双面散热 5x6 封装之间的热阻比较

由于 $R_{DS(on)}$ 值略有不同，因此不可能与竞争对手的器件进行直接比较，但 图 6 显示基于数据手册在 40 V V_{DS} 下低-$R_{DS(on)}$ 器件之间的比较。

英飞凌技术可提供最低的热阻值；与最相关的竞争对手相比，$R_{thJC（顶部）}$ 约低 30%。由于精心优化，英飞凌的一些器件可在热性能上超过某些竞争对手的同类最佳器件，而这些器件并非英飞凌的同类最佳器件。

3 产品性能

3.1 热性能

3.1.1 出色的热性能

在许多情况下，测量或仿真是展示双面散热相关改进的最佳方式。因为这涉及到产品比较，而仿真和测量条件通常与产品相关。图 7 有助于解释该概念。

总热阻由以下公式得出：

$$Rth_{JA} = \frac{(Rth_{TA} + Rth_{TIM} + Rth_{JC(top)}) * (Rth_{JC(bot)} + Rth_{BA})}{(Rth_{TA} + Rth_{TIM} + Rth_{JC(top)} + Rth_{JC(bot)} + Rth_{BA})}$$

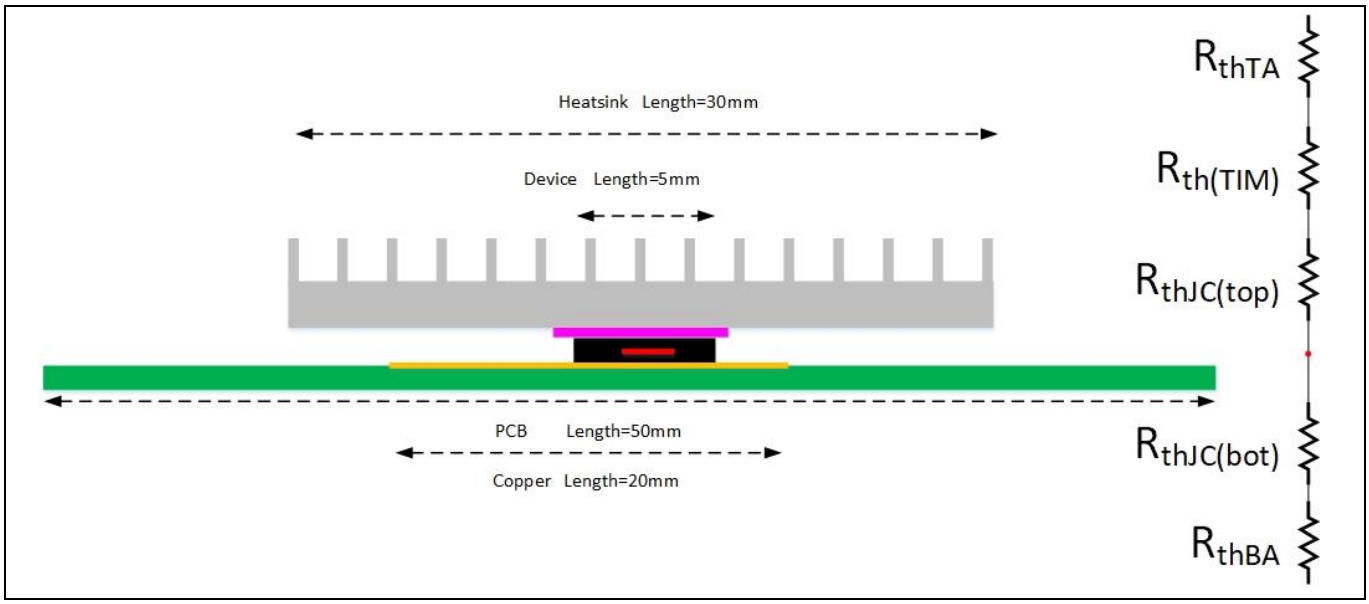


图 7. 不同长度之间的比例关系

正如参考文献 [1]、[2] 和 [3] 及 图 7（仅在水平方向上进行缩放）中所示，与单个器件相比，用于进行仿真或测量的电路板和散热器尺寸都比较大。此种设置会影响系统热阻（由结到环境顶部的热阻和结到环境底部的热阻组成），从而对底部散热到双面散热的转换进行改进。主要是因为系统级（器件、PCB 和散热器）热阻与器件本身热阻不同。对此进行进一步分析，如三篇参考文献中所示，可以看出：

- [1] 中未包含有关 PCB 尺寸和散热器尺寸的直接信息。相反，其中包含关于不同封装技术热阻间的相关信息，如上一段所示，就 $R_{thJC（顶部）}$ 而言，底部散热和双面散热封装之间的差距是双面散热的 10 倍（~1 K/W 和 10 K/W）。尽管在器件级层面，从结到顶部的热阻存在巨大差异，但温度和电流降低方面的增益在 20% 到 30% 之间。如上所述，这是因为散热器和/或 PCB 的热阻比器件本身的热阻更高。
- [2] 中提供了有关 PCB 和散热器尺寸的更多信息。PCB 尺寸约为 2500 mm²（覆铜区域尚不清楚，可能为 300 mm² 左右），散热器尺寸约为 900 mm²。考虑到产品本身的尺寸 30 mm²，这显然是一个巨大差距。在这种情况下，温度降低方面的增益更加明显，约为 50%。在这种情况下，温度方面的增益更大，因为系统热阻与器件热阻处于同一范围内。
- [3] 可提供更多有关 PCB 尺寸、铜含量和散热器尺寸的信息。在这种情况下，也会使用不同的散热器。最后，其中一个散热器尺寸约为 1800 mm²，另一个约为 625 mm²。在这种情况下，功耗的最大增益

产品性能

也在 60% 内（与 SO8 或底部散热相比，双面散热的功率高出 60%）。同样，新增部件（散热器和 PCB）热阻与器件热阻在同一范围内。

此外，英飞凌科技已在产品层面进行了仿真，以证明双面散热的优势。在这种情况下，与上文相比，所使用的散热器较小。

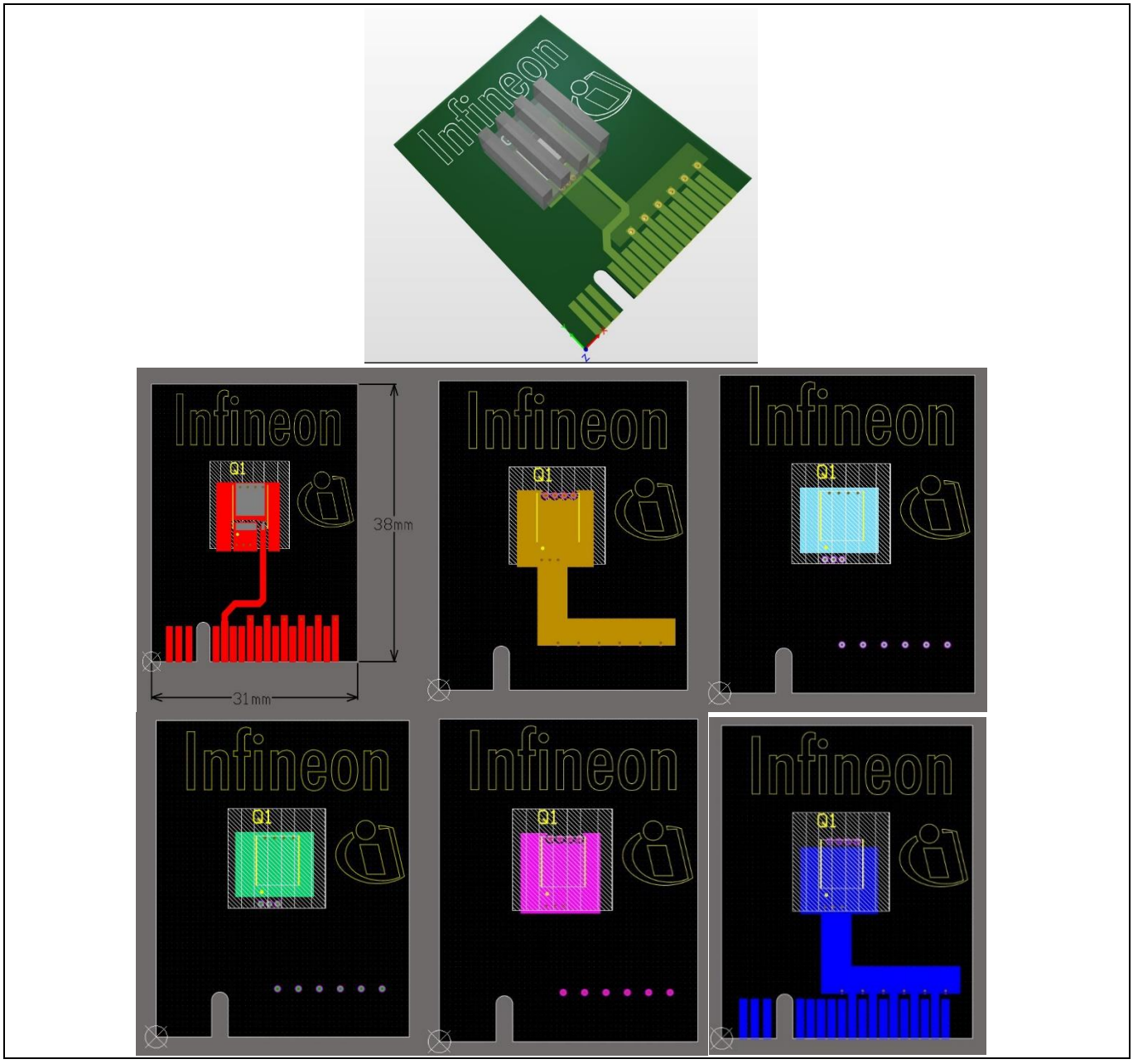
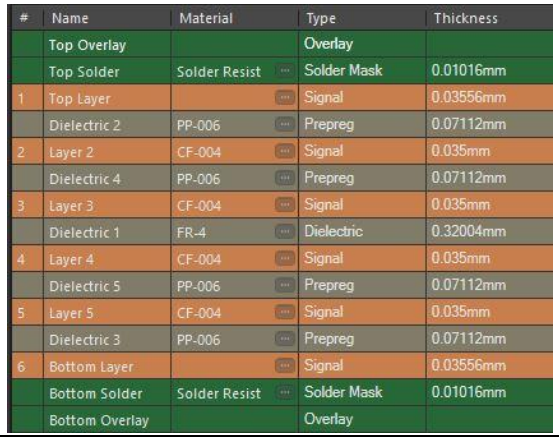


图 8.　　用于产品级热仿真的板层设计

图 8 显示了 PCB 等距视图和不同层布局。从左上按顺时针方向依次为：顶层、2 层、3 层、4 层、5 层和底层。为了清晰起见，图中显示的为双面散热封装。



#	Name	Material	Type	Thickness
	Top Overlay		Overlay	
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask	0.01016mm
1	Top Layer		Signal	0.03556mm
	Dielectric 2	PP-006	Prepreg	0.07112mm
2	Layer 2	CF-004	Signal	0.035mm
	Dielectric 4	PP-006	Prepreg	0.07112mm
3	Layer 3	CF-004	Signal	0.035mm
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric	0.32004mm
4	Layer 4	CF-004	Signal	0.035mm
	Dielectric 5	PP-006	Prepreg	0.07112mm
5	Layer 5	CF-004	Signal	0.035mm
	Dielectric 3	PP-006	Prepreg	0.07112mm
6	Bottom Layer		Signal	0.03556mm
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask	0.01016mm
	Bottom Overlay		Overlay	

图 9. PCB 层厚度和材料

图 9 显示了 PCB 层数（六层）、铜层厚度 (35 µm)、介电层厚度 (70 µ m) 和芯板厚度 (320 µm)。

该板所使用的通孔具有以下特点：

- 孔尺寸：0.4 mm
- 焊盘直径：0.7 mm
- 孔壁厚度：23 µm

表 3. 散热器特性（包括底座高度在内）

	HS1	HS2
尺寸 [mm³]	8x8x6	11.8x8x8
底座厚度	2	2.5
翅片数量	5	4
翅片间距 [mm]	0.9	1.7
翅片宽度 [mm]	0.9	1.7

表 3 显示了散热器特性；图 8 使用 HS2。

表 4. 热阻——节到环境

气流 [m/s]	底部散热			双面散热		
	W/O HS	HS1	HS2	W/O HS	HS1	HS2
	R_{thJA} [K/W]			R_{thJA} [K/W]		
0	71	60	54	71	59	52
1	50	38	31	49	37	30
2	42	31	25	42	30	24
3	37	28	**23**	37	27	**20**

在这种情况下，由于实验中所使用的散热器尺寸较小，限制了热性能，因此底部散热和双面散热之间的改进小于先前情况。

所有测试均在环境温度为 25℃ 的情况下进行，板垂直放置，气流沿翅片方向流动。



图 10.　　表 4 中的测试结果所用设置（底部散热）

考虑到极大的 PCB 和散热器，这种方法是完全可以接受的，且需要根据产品级的比较结果进行决定。此方法协调了各种条件，简化了评估过程，从而量化效益。事实上，不同的应用存在太多可变条件，无法充分证明双面散热的改进。通过该方式获得比较结果后，我们可以看到极大的改进，但可能效果很差（如 表 4 所示）或与实际情况相差太远（如 [1]、[2] 和 [3] 所示），不符合实际情况。上述考虑因素需要在相关环境中对性能进行评估。

3.1.2　　应用中的热性能——仿真

如上所述，根据边界条件，使用顶部散热器件可实现 20% 到 50% 的工作温度改善。假设使用大型 PCB 和散热器后才能获得这些结果。本段将考虑一个更现实的条件，更接近于应用条件，对双面散热相较于底部散热的改进进行分析。

得益于“电气化”趋势，电动工具市场不断发展，这一趋势自千禧年以来始终保持着强劲的发展势头。

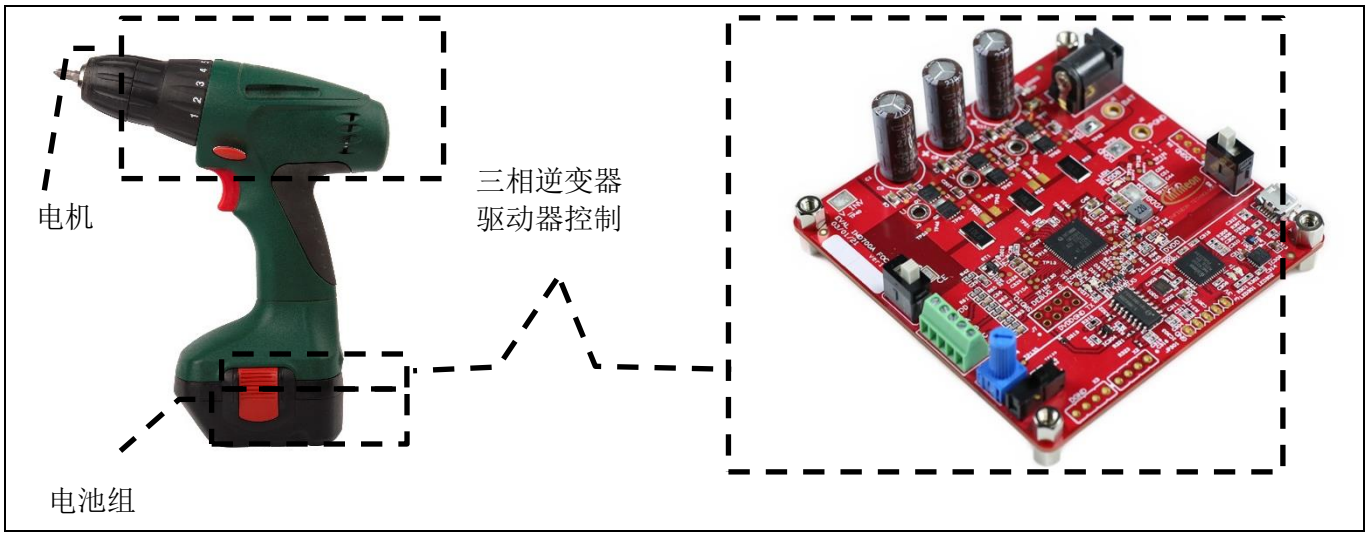


图 11.　　电动工具和英飞凌科技评估套件

产品性能

图 11 显示了所需考虑的应用及基本组件：电池、电机和三个半桥 (HB)，对电机转速和扭矩进行控制；还显示了英飞凌科技评估套件 EVAL_IMD700A_FOC_3SH [4]。由于工具需要便于携带，所以电源板不能占用太多的重量和空间。这意味着为电子器件和散热器预留的空间极小，例如，该空间远小于 SMPS 应用中所预留的空间。

为了评估双面散热相较于底部散热的优势，我们进行了有关边界条件的仿真测试。

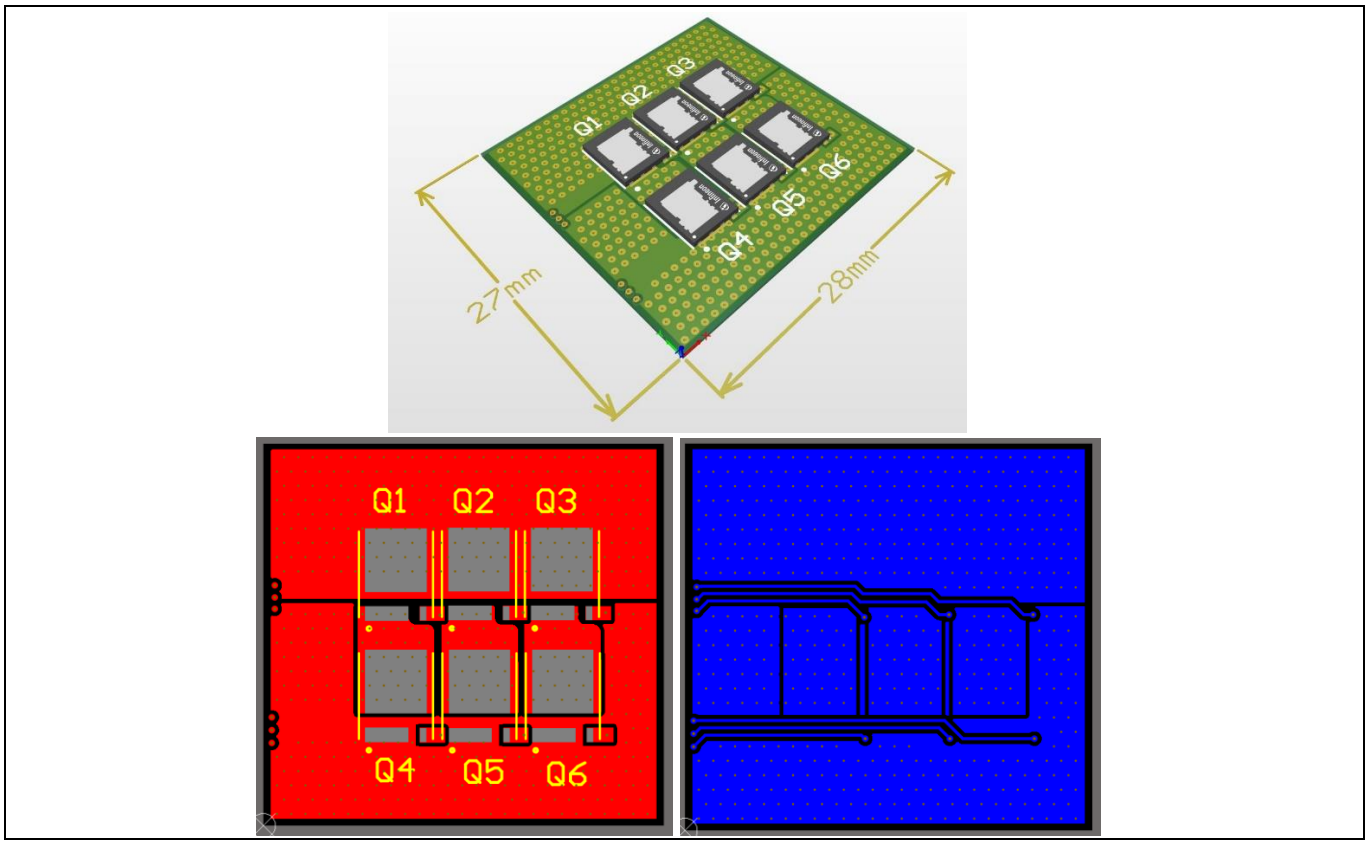


图 12. 用于热仿真的板设置和布局

图 12 显示了三个 HB 布局，仅与电源路径有关，从电池到三个 HB，再到具有三个不同相位的电机。为了简化仿真过程，暂不考虑电池和三相电机的连接器。此外，用于控制逻辑和驱动电路的部件也不包括在内。该板配备了尽可能多的通孔，使其在从上到下的热传递方面效果更加显著，但并非总是如此，因为通孔会增加生产成本。

如同在实际应用中一样，PCB 必不可少。如图所示，PCB 尺寸略大于功率组件，且 PCB 仅使用了两层 35 µm 的铜。通孔孔径为 0.2 mm，直径为 0.4 mm；间距约为 1 mm。该板的尺寸为 27 mm x 28 mm。PCB 的总厚度大约为 0.5 mm，芯板厚度为 0.32 mm。

在电动工具中，没有过多的空间可用于翅片型散热器；根据工具的尺寸和用途，系统内部也不太可能存在气流。在许多情况下，工具的金属外壳可用作散热器；在其他情况下，一块简易金属板也可以用作散热器。由于这些原因，仿真设置考虑采用一个略大于 PCB 的金属外壳，也可以用于为 PCB 提供机械支撑。PCB 周围有一个 1 mm 厚的塑料容器。

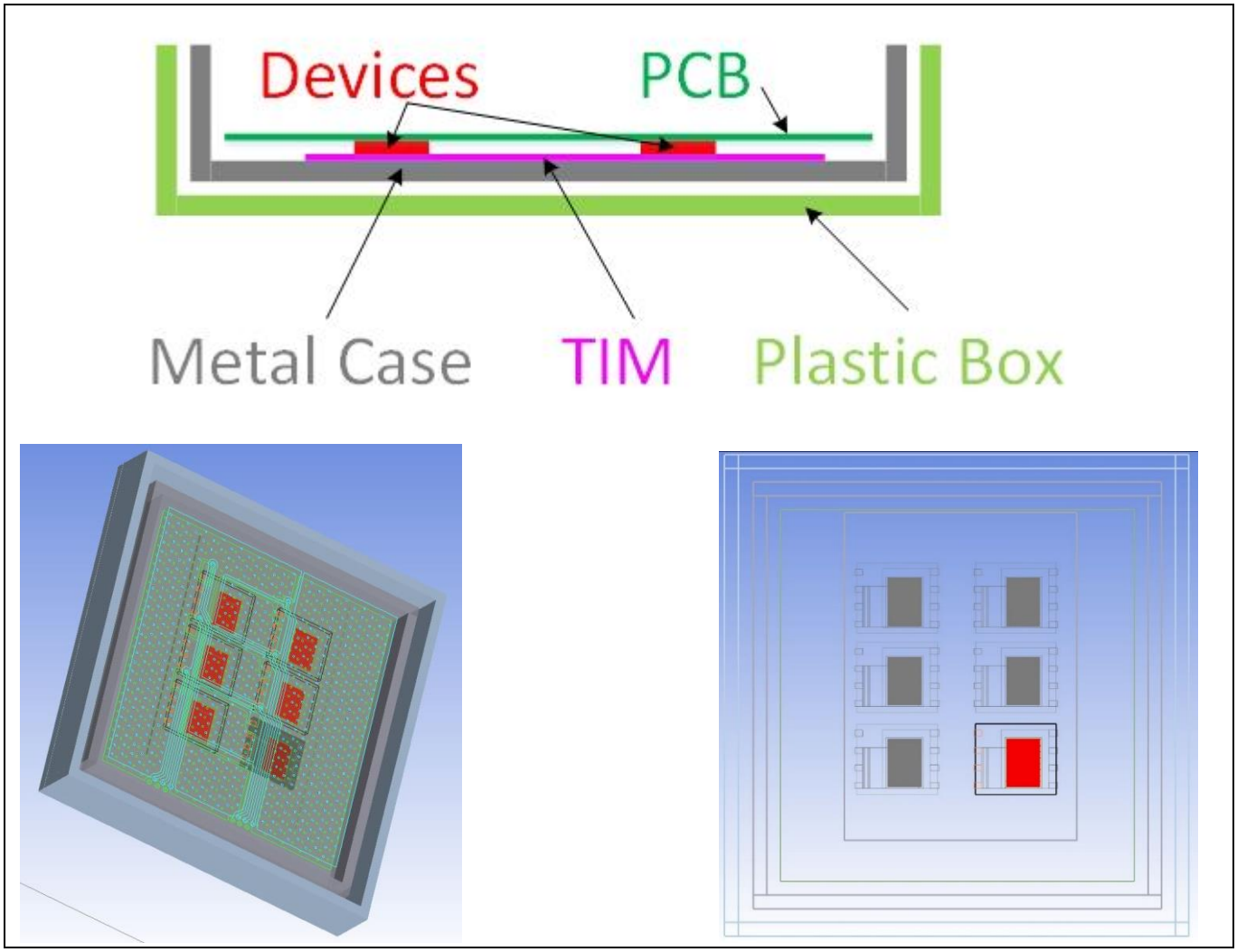


图 13.　　仿真设置（上）、3D 视图（左）和俯视图（右）

图 13 显示了仿真设置；上图未按比例插入，而是显示了整个系统。器件安装在顶层，然后翻转；因此，PCB 正对着系统上方。然后，器件通过热界面材料与金属外壳进行热连接。（TIM；Bergquist™ [5]，具有以下特点：5 W/m-k；1000 J/kg-k；3600 kg/m³ ）。然后使用通常用于包裹工具的塑料外壳包裹金属外壳。在采用双面散热的情况下，将 TIM 放置在夹子顶部；在采用底部散热的情况下，中间具有模塑化合物。

左下方图片显示了一些部分透明的 3D 模型，从而显示组件位置。同时，右下方图片为系统俯视图，突出显示了热源（红色芯片）和一些封装细节。

这与实际应用的主要区别在于，系统上部未封闭，而是保持开放。采用这种做法的原因是为了简化仿真过程。

我们考虑了两种仿真类型：静态仿真和动态仿真。采用这种方法的原因是为了突出强调有时预期优势并不能像产品级仿真中所预测的那样发生。

所有仿真均在环境温度为 20℃，重力沿 Z 方向的情况下进行。仿真软件为 ANSYS Icepak™ 2019 R1 [6]由于本应用说明的旨在对结果进行讨论，所以我们对有关热仿真设置的描述仅限于最重要的部分。

3.1.2.1 静态仿真

本段显示了双面散热和底部散热的静态仿真结果和比较结果。对每个器件不断施加 0.5 W 负载，总功耗为 3 W。

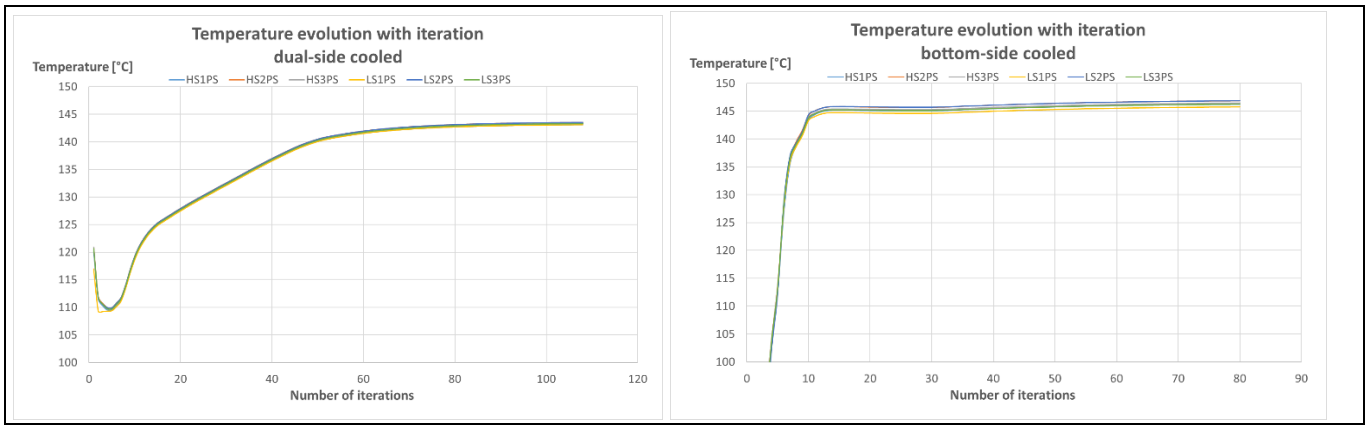


图 14. 双面散热（左）和底部散热（右）的温度变化趋势

图 14 显示了双面散热和底部散热的温度变化趋势。切记，X 轴并非时间，仅表示软件达到一定收敛水平所需的迭代次数。

除变化趋势不同以外，还需要突出强调其他两个重要因素：第一是双面散热最高温度 (143°C) 和底部散热最高温度 (147°C) 之间的差异很小。上述现象可以解释为，在这种情况下，整体热阻极高（约 40 K/W），即使使用双面散热代替底部散热对结到顶部热阻进行改进，也不会带来任何明显优势，这在 3.1.1 段的最后部分也得到了验证。

第二个观察结果同样与一个显著的小趋势有关：与双面散热相比，底部散热器件的最终温度分布略微广泛。这表明散热器也有助于平衡不同器件间的温度，减少不同器件间的温度变化梯度，从而降低故障风险。

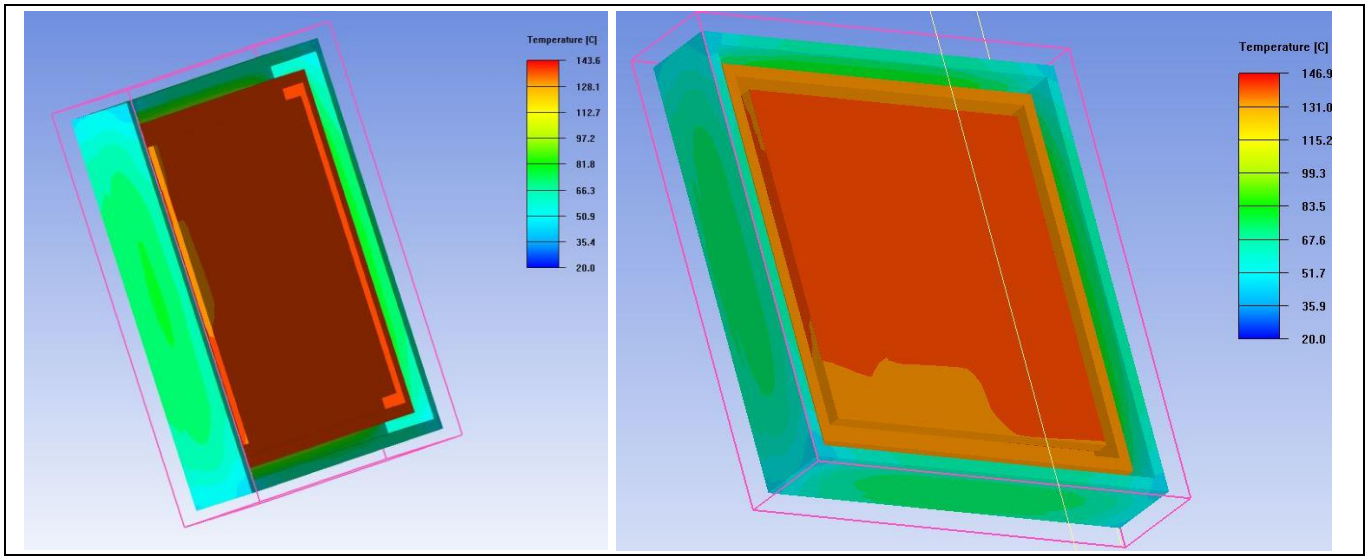


图 15. 双面散热（左）和底部散热（右）的温度分布情况

图 15 显示了各器件的温度分布和最大结温。温度方面的差异极小；可以看出在双面散热情况下，金属外壳的温度与 PCB 和器件的温度更接近，而在底部散热情况下，金属外壳明显具有不同的颜色。

3.1.2.2 动态仿真——负载阶跃

采用与静态仿真中使用的相同设置，用于进行负载阶跃动态仿真。在这种情况下，为六个器件同时提供 5 W 单脉冲，总功耗为 30 W。

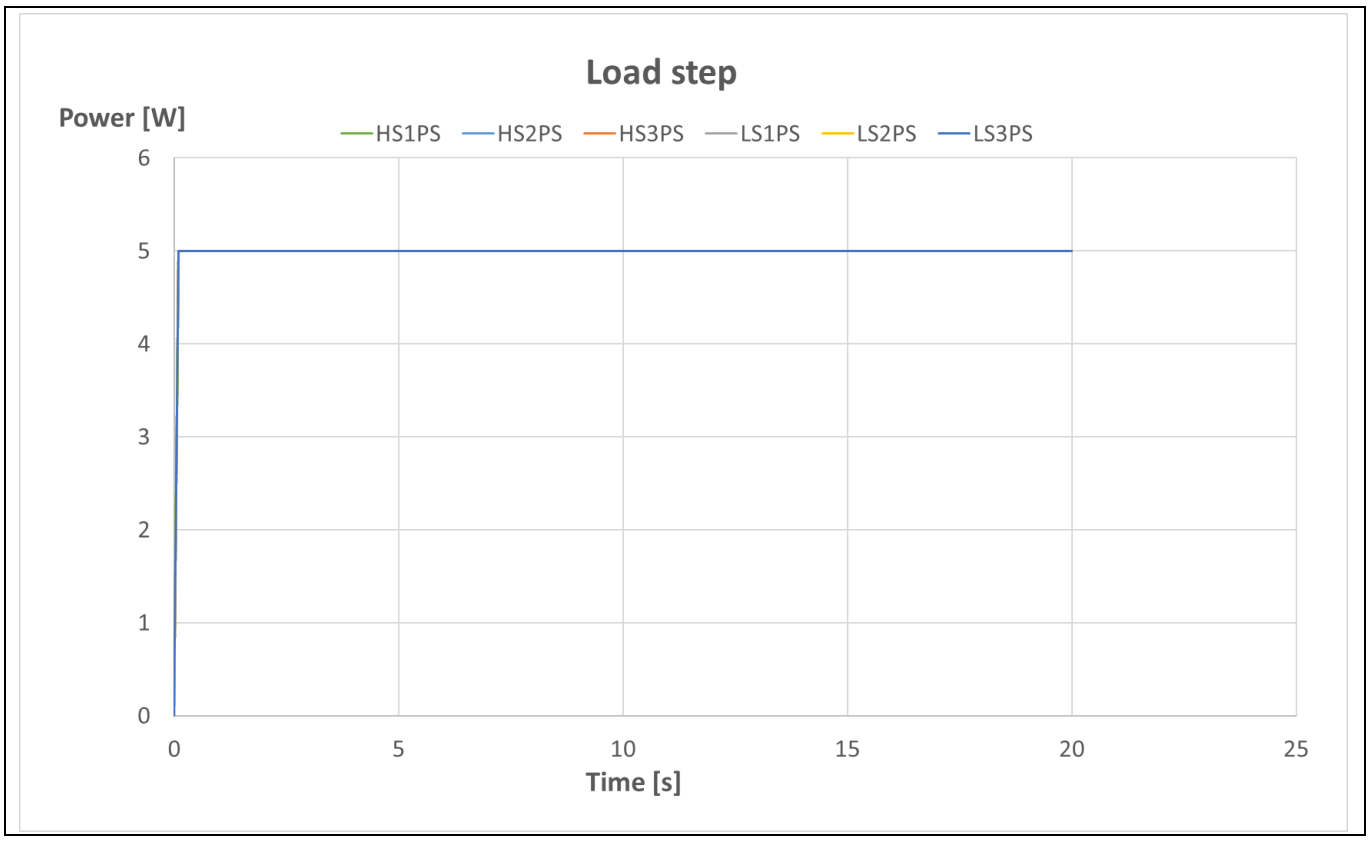


图 16. 功耗——负载阶跃

图 16 显示了同时施加在六个器件上的负载（热量）。负载为 5 W，上升缘为 0.1 s。

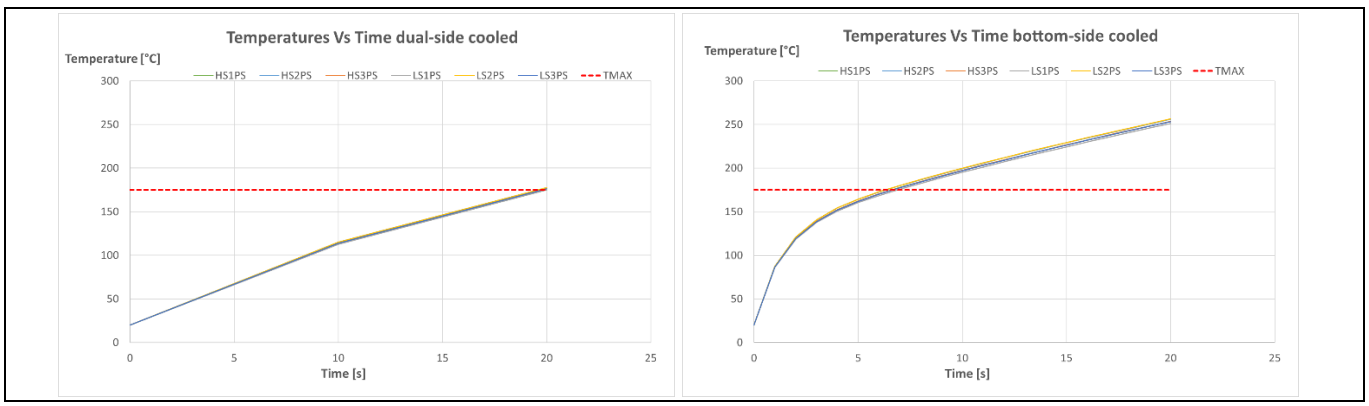


图 17. 双面散热（左）和底部散热（右）的温度变化趋势

图 17 显示了瞬态温度；左侧为双面散热，右侧为底部散热。20 s 后，双面散热略微超出了器件所允许的最高温度 (175°C)；同时，在底部散热情况下，类似现象发生在约 6 s 后。

3.1.2.3 动态仿真——交替负载

由于在大多数情况下负载为一个电机，所以使用磁场定向控制 (FOC) 的电动工具具有正弦电流特征。正弦电流用于设定转速和转矩。因此，与传导相关的功耗是正弦电流平方的函数。最后，与应用最相关的仿真为采用正弦负载进行的仿真。由于正弦波形对仿真计算的要求略高，因此采用等效的三角形形状。图 18 显示了正弦平方激励和三角函数之间的比较。

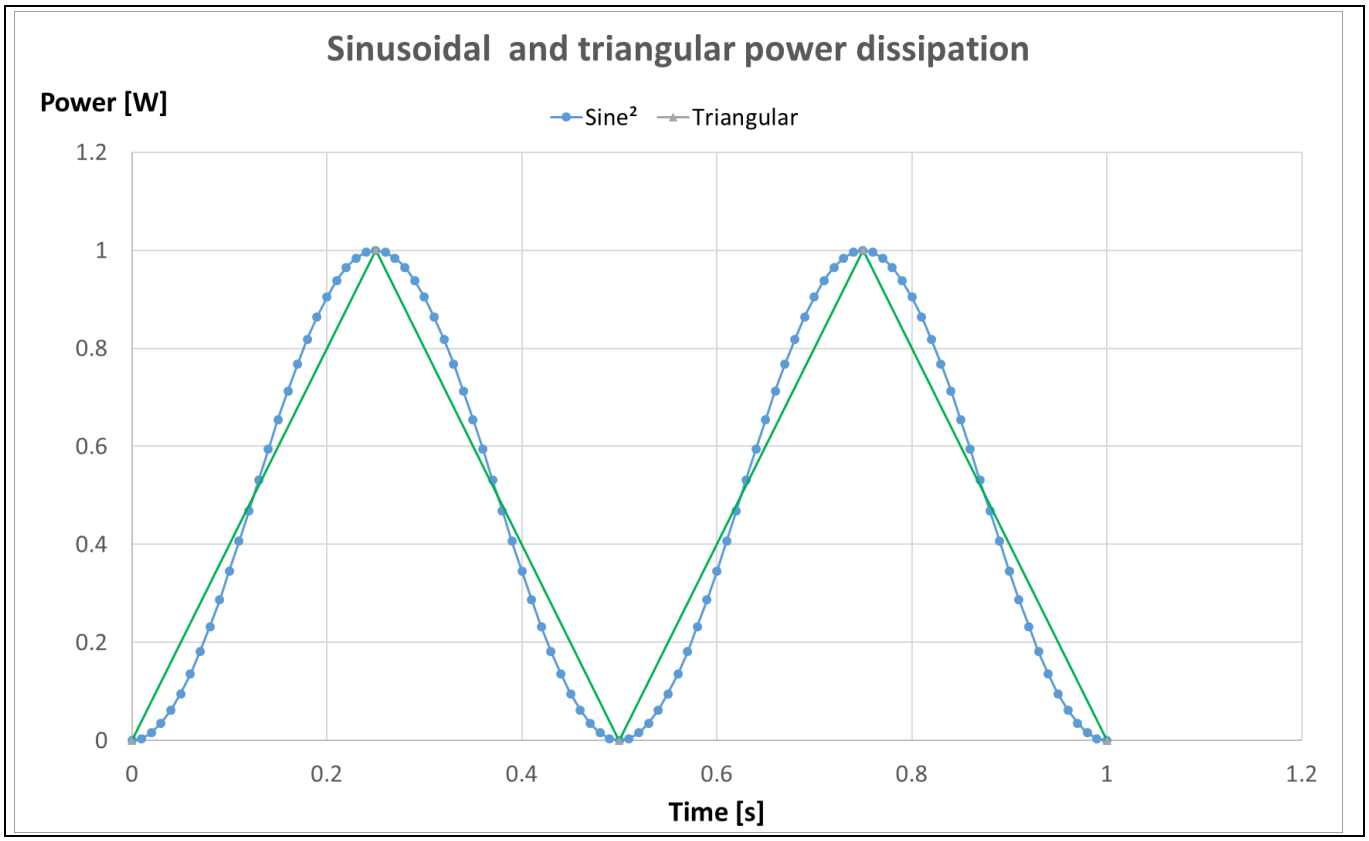


图 18. 使用三角函数进行 sin² 函数逼近

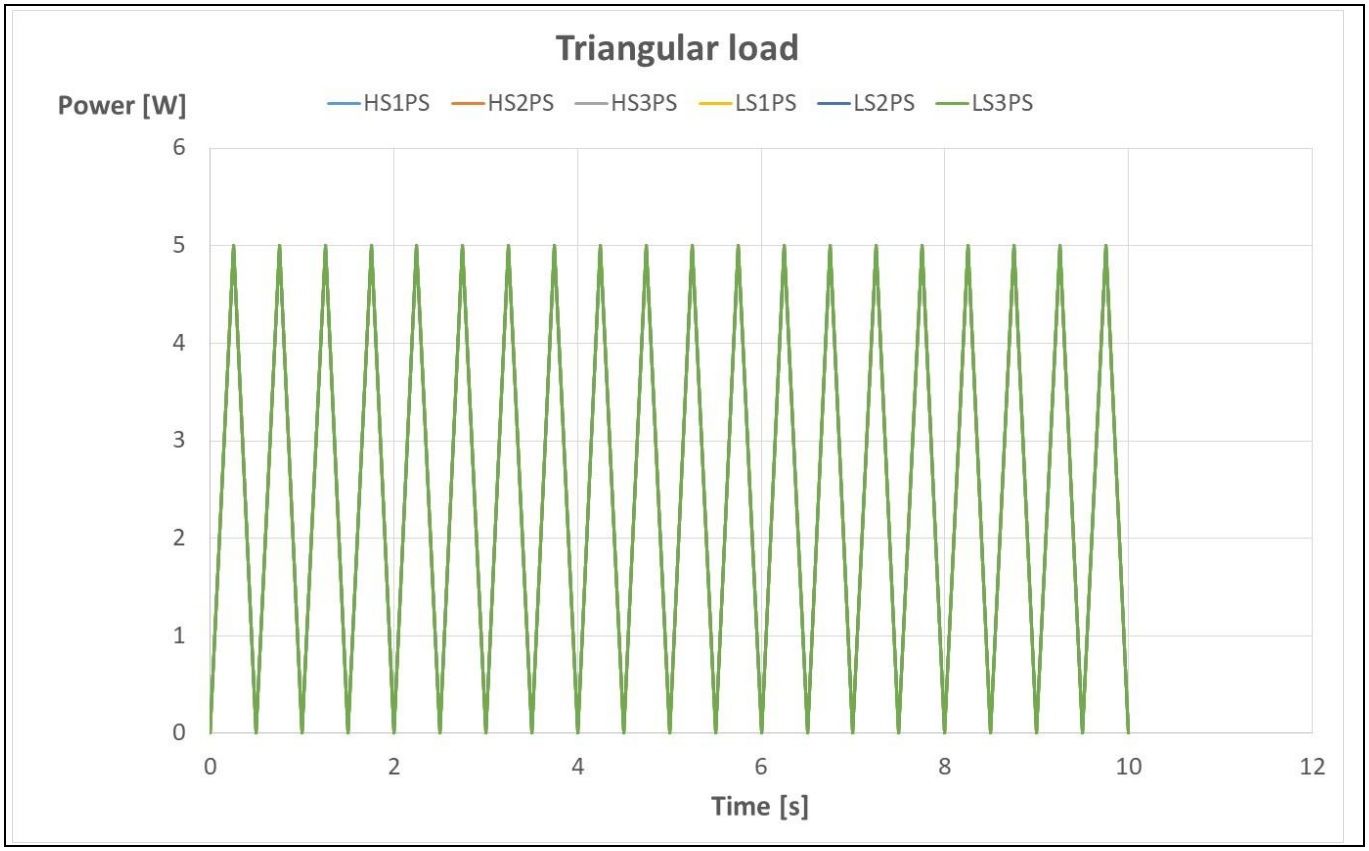


图 19.　　功耗——三角形形状

图 19 显示了应用于模型的三角形功耗模型。最大功率为 5 W，周期为 0.5 s，整体仿真时间为 10 s。

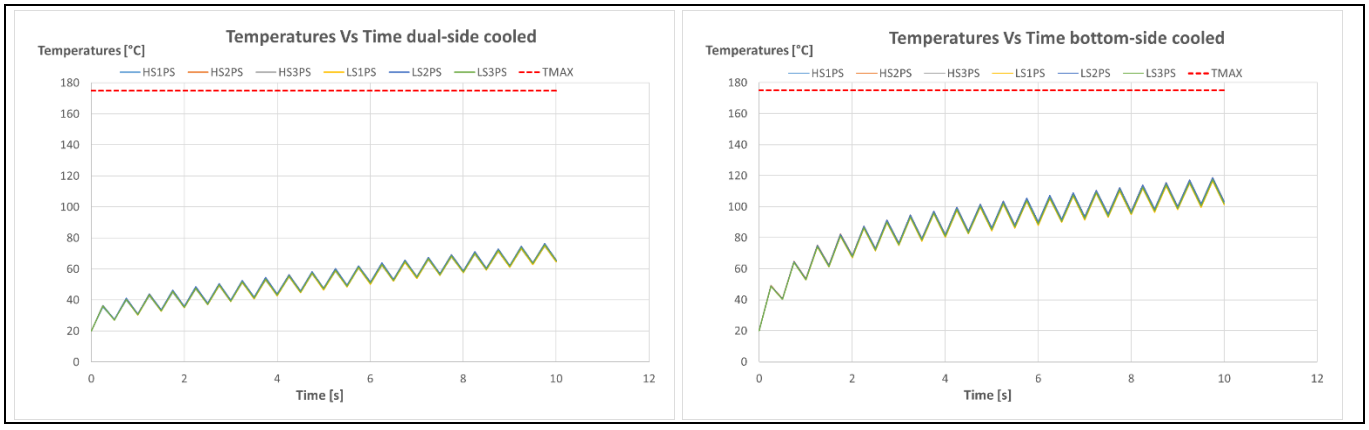


图 20.　　双面散热（左）和底部散热（右）的温度变化趋势

图 20 显示了双面散热（左）和底部散热（右）的仿真温度变化趋势。两者均未完成瞬态变化，但双面散热的优势更为明显；事实上，在相同功耗下，双面散热 10 s 后的温度约为 70℃，而底部散热的温度为 110℃。

3.1.3 应用热性能——测量

本段将展示不同应用的测量方法。

3.1.3.1 电信砖转换器

英飞凌科技的底部散热和双面散热产品均达到了行业水准，因此可用于电信应用。在特定测试中，对底部散热 BSC040N10NS5（底部散热）和 BSC040N10NS5SC（双面散热）进行了比较。

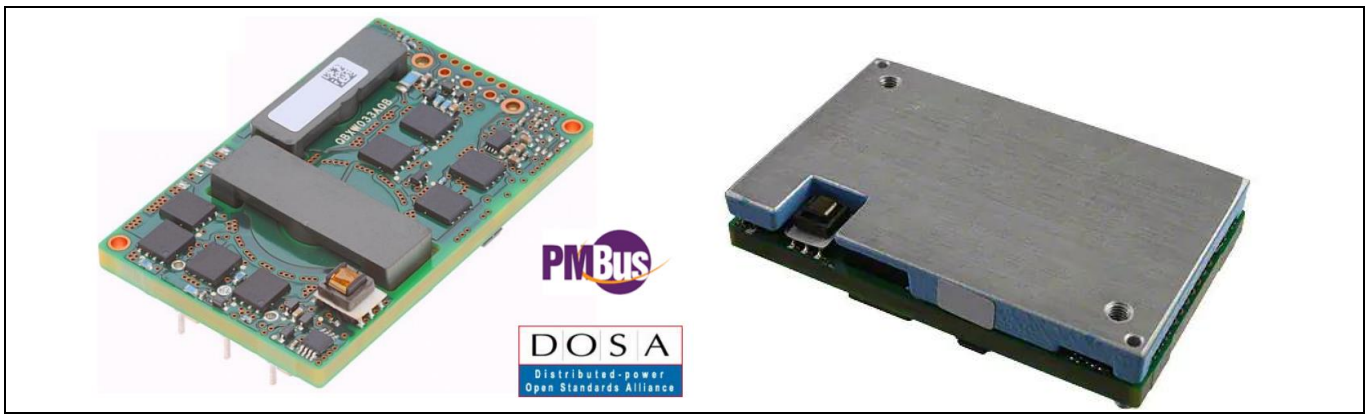


图 21. 对有无散热器的 400 W 砖式转换器进行测试

测试条件：

- 在测试过程中，每条支路仅使用一个器件，而非原来的每条支路使用两个器件
- 在整个测试过程中，风扇速度保持恒定 (5.4 V，0.1 A)。
- TIM 为 0.9 K/W（仅用于同步器件）
- 测量前，满载情况下的预热时间为 20 分钟，每次负载变化时的预热时间为 1 分钟
- 3 A 负载阶跃
- 使用热电偶（J 型）测量温度，将该热电偶放置在同一参考点（SR1 的源极引脚）。

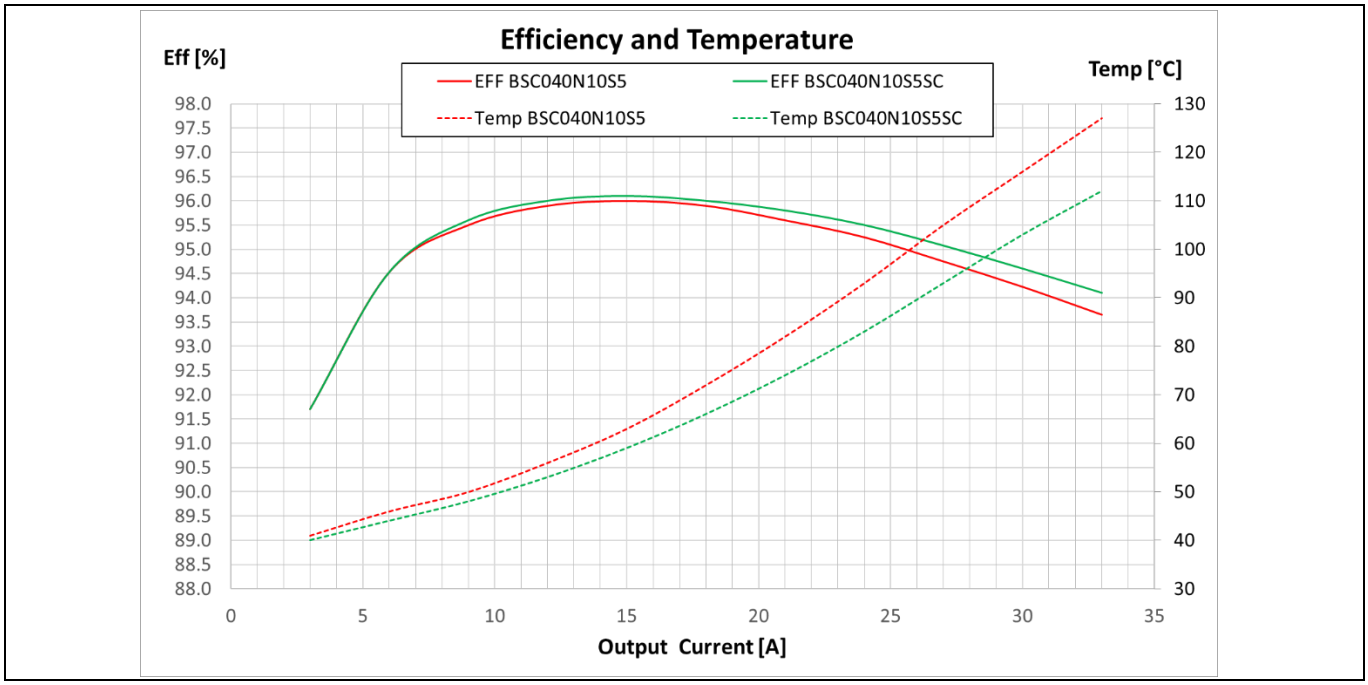


图 22.　　效率和热比较

图 22 显示了输入电压为 48 V 时的效率和热比较。如图所示，在相同 $R_{DS(on)}$ 等级下，由于与散热器的连接更好，有可能使效率提高 0.4%，使板上的温度降低 15℃。

得到的另一种结果是考虑双面散热增加的功率密度。例如，如所给出的最高温度为 110°C，双面散热可允许更大的输出电流，大约增加 23%。

3.1.3.2　　开关模式电源

本段将显示 SMPS 的实验结果。在这种情况下，使用 **EVAL_600W_12V_LLC_C7** [7] 作为测试平台。为了更好地对双面散热和底部散热进行比较，我们做出了一些修改。

- 使用 BSC016N06ST 和 BSC016N06NSSC 取代原有的同步整流器 (SR) 器件 BSC010N04LS。
- 将散热器重新安置在 SR 器件顶部，通过一个导热垫隔开。双面散热和底部散热均采用此设置。
- 还使用了另外一个风扇，位于板底部，有助于 SR 散热器散热。
- 两个风扇均由外部 DC 电源供电，不包括在效率测量内。
- 采用热电偶（J 型）进行热测量，并将热电偶放置在同一点上（T6 和 T10 源极引脚）。
- TIM 热阻为 0.9 K/W。

产品性能

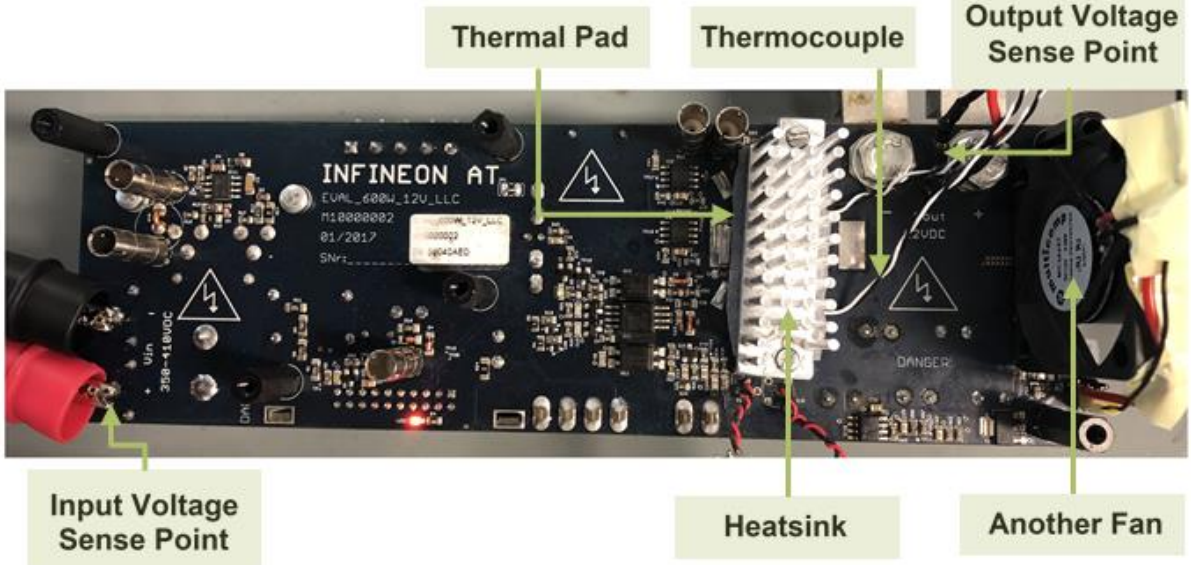


图 23. SMPS 测试平台

图 23 显示了修改后的平台，器件顶部配有散热器。

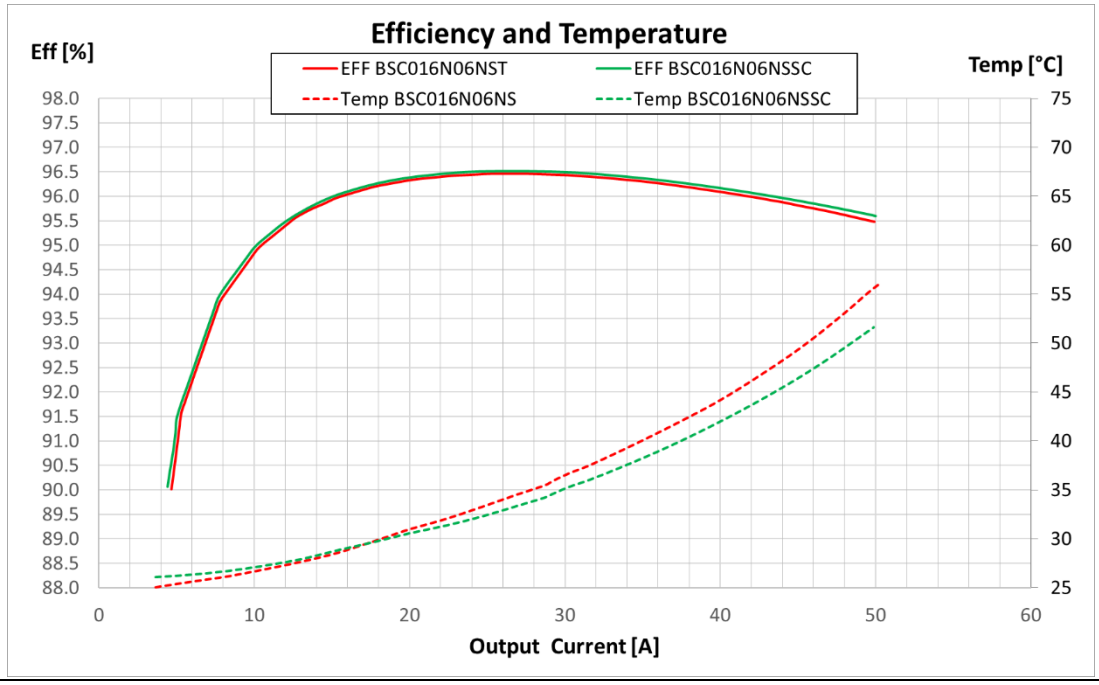


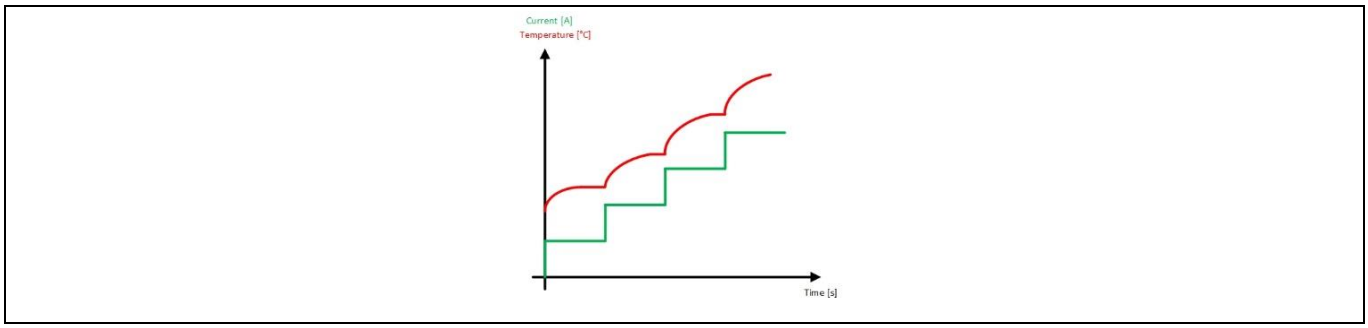
图 24. 效率和温度比较

在这种情况下，效率提高了约 0.1%，温度提高了约 4℃。对于该应用而言，功率密度增加位于 21% 范围内。

产品性能

3.1.3.3 电动工具

本段显示了在不同 PCB 设置下，双面散热和底部散热之间的比较结果。该测试是一个简单的 DC 测试，电流逐渐增加，每一步均要等待温度平衡。对 BSC014N06NS 和 BSC014N06NSSC 器件进行比较。在静止环境中进行测试。



可视化 DC 电流测试程序

表 5. 用于 DC 测试的 PCB

板名称	尺寸 [mm]	层数	层厚度 [µm]
PCB_8L_280um_70um	76x76	8	顶部和底部厚度 280 内层厚度 70
PCB_1L_70um	76x76	1	70
PCB_1L_35um	76x76	1	35

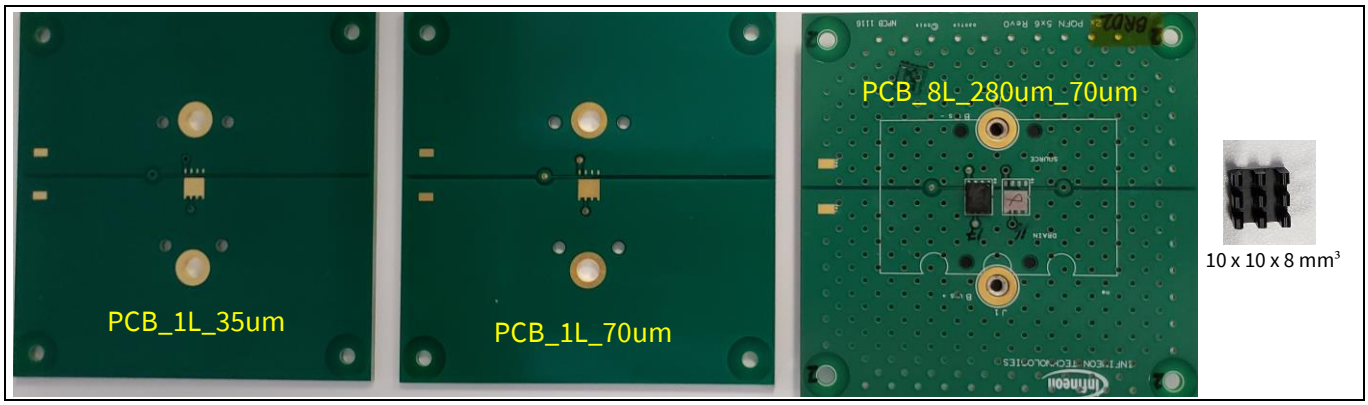


图 26. 用于 DC 测试的 PCB 和散热器

图 26 和 表 5 显示了用于 DC 测试的 PCB 和散热器特性，该散热器与 3.1.1 段产品级仿真中所使用的散热器类似。散热器通过导热膏粘在器件顶部，并使用螺钉固定在 PCB 上。

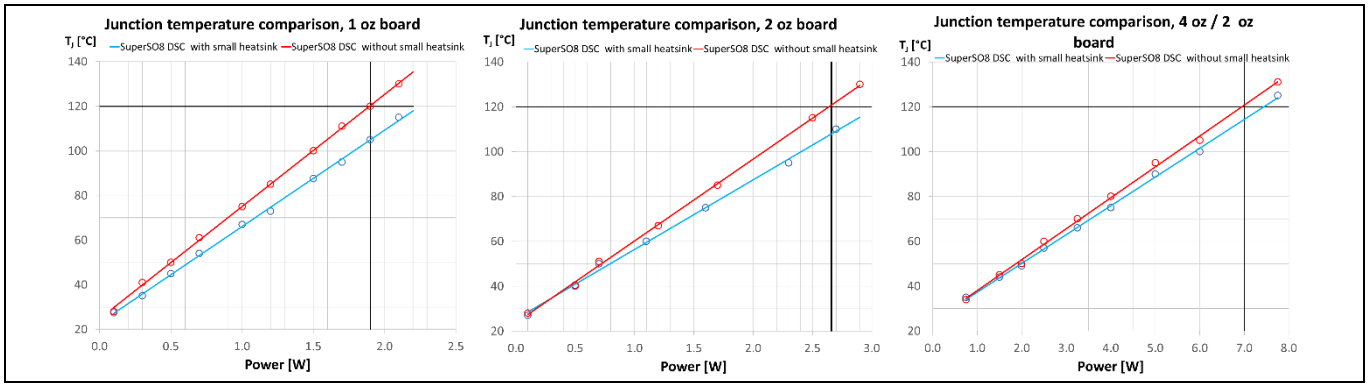


图 27. 在直流测试中，采用各种 PCB 设置的热性能

图 27 显示了配备和未配备散热器的双面散热热性能；右侧图片为采用八层 PCB 设置的热性能图。测量背后的关键假设是，从热角度来看，双面散热和底部散热的表现与其在板上安装且未使用散热器时的表现类似。如图所示，小型散热器时的改进通常可以忽略不计，当板很厚，且配备大量铜时，从 7 W 到 7.5 W 的功耗大约提高 10%；当板上铜量较少时，功耗可改进约 12%。在最后一种情况下，当 PCB 中所使用铜量并非很高时，改进范围多在 20% 内。

3.1.4 热性能——结论

双面散热在热改进方面的优势可以通过以下几种方式来证明：基于产品级或应用级的测量和仿真。3.1.1 段中所使用的第一种方法优势非常明显，不针对于具体应用，因此非常普遍。然而，这种方法有时与应用条件相差甚远——因其使用的 PCB 过宽，或散热器过大，或仅有一个热源——从而突出展示了一个与应用无关的优势（从结到环境的低热阻）。

3.1.2 段中所使用的第二种方法可能会受到极大限制，因其对某一特定应用要求过于严格和具体；另一方面，其有时可为某一解决方案提供意想不到的优势。

3.2 机械性能

双面散热实现的热性能改进极为重要，但必须确保不会受到其他影响。暴露的器件夹子可能意味着其在机械性能方面不够坚固。为了解决该问题，进行了两项机械测试：压力测试和弯曲测试。第一项为器件级测试，目的是测量在观察到性能快速退化之前可以施加到器件上的最大压力。第二项为弯曲测试，这是一项次级机械测试，其不仅与器件本身有关，而且与器件和 PCB 的连接有关。[7] 提供了与底部散热机械性能相关的一些指标，作为参考。

3.2.1 抗压测试

抗压测试是为了测量在器件出现电气故障之前，器件上可承受力的大小，如在安装散热器期间进行测试。然后将压力从零到最大值循环一定次数。压力循环速度也是测试的一个参数。在某些情况下，压力可恢复到零，而在其他情况下，压力会回到一个预定值。此外，在最后一步或每个循环中保持最大力 5 s。本次测试所使用的样品数量为 10 个。

进行不同测试的原因是为了在不同种类的负载下，找出机械结构中是否存在任何薄弱点。

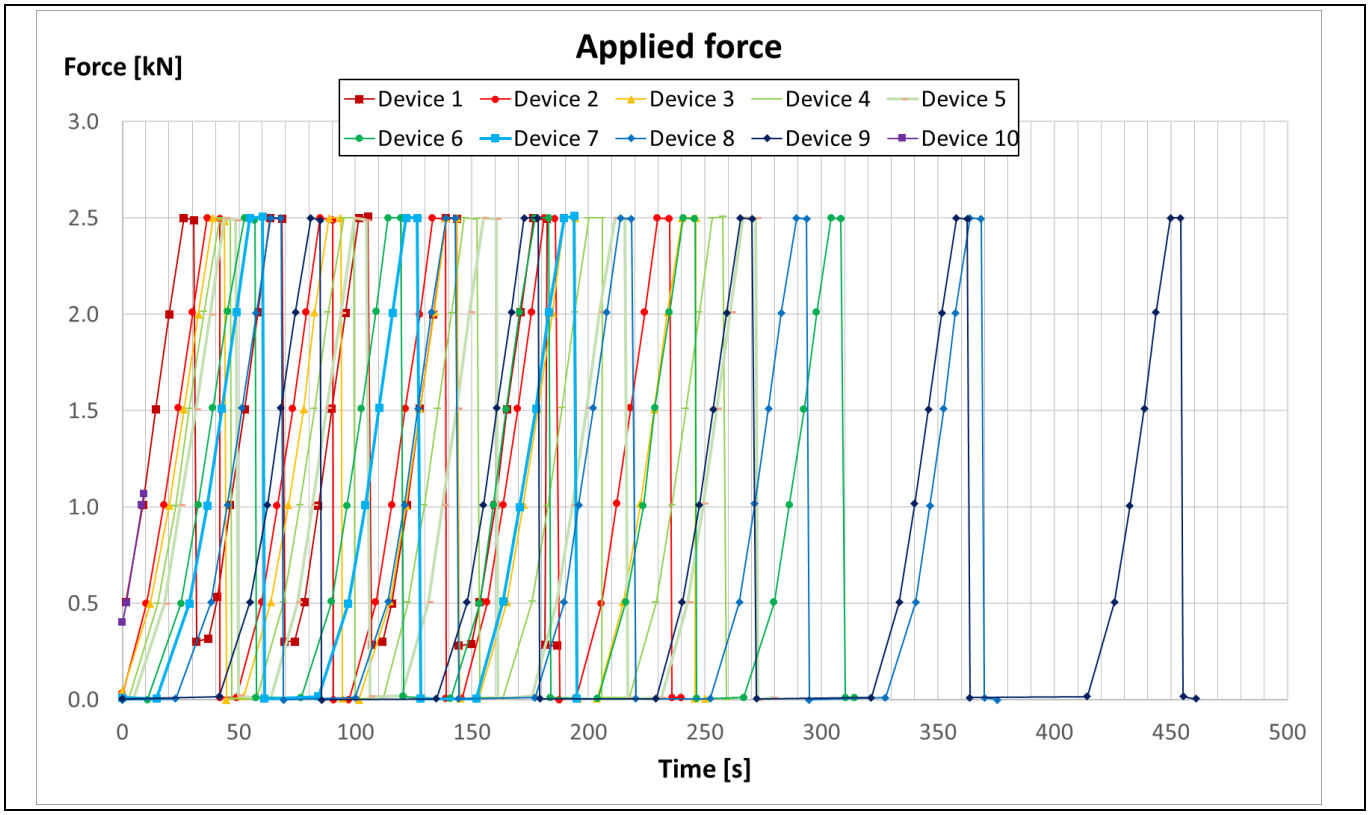


图 28.　　压力测试——不同测试模式

在这种情况下，所施加的最大力为 2.5 kN，规定的循环次数为 5 次。

表 6.　　压力测试结果总结

器件	循环	F_{max} [N]	备注
1	5	2500	
2	1	1070	在第一次循环中，在 1 kN 处发生电气故障
3	5	2500	
4	5	2500	
5	5	2500	
6	5	2500	
7	5	2500	
8	5	2500	
9	3	2500	第三次循环中，在 2.5 kN 时发生电气故障
10	5	2500	

所获数值与底部散热器件的数值范围相同。实验表明，双面散热与底部散热具有相同的稳健性。事实上，测试压力远远超过了用于散热器连接的正常压力。为了对实验中所采用的数字有一个大致了解，2000 N 大约相当于 200 kg，将该重量置于 30 mm² 的狭小区域中。

故障器件主要是两次电气故障，未发现机械故障。

3.2.2 弯曲测试

弯曲测试为“次级测试”的一部分，与器件本身无关（如压力测试），但更倾向于测试器件和支持结构之间的关系，如 PCB 焊接。该测试主要是为了在安装散热器时证明器件与 PCB 之间焊接节点的机械强度。在安装过程中，PCB 可能会发生弯曲。

在这种情况下，测试方法如下：从平面状态开始，通过施力使 PCB 弯曲，直至达到最大弯曲系数。随着最大弯曲系数的增加，循环进行测试。在循环结束时，弯曲度降低到初始值。与先前测试不同，最终弯曲状态并未保持。在该测试中，同样使用了 10 个样品。

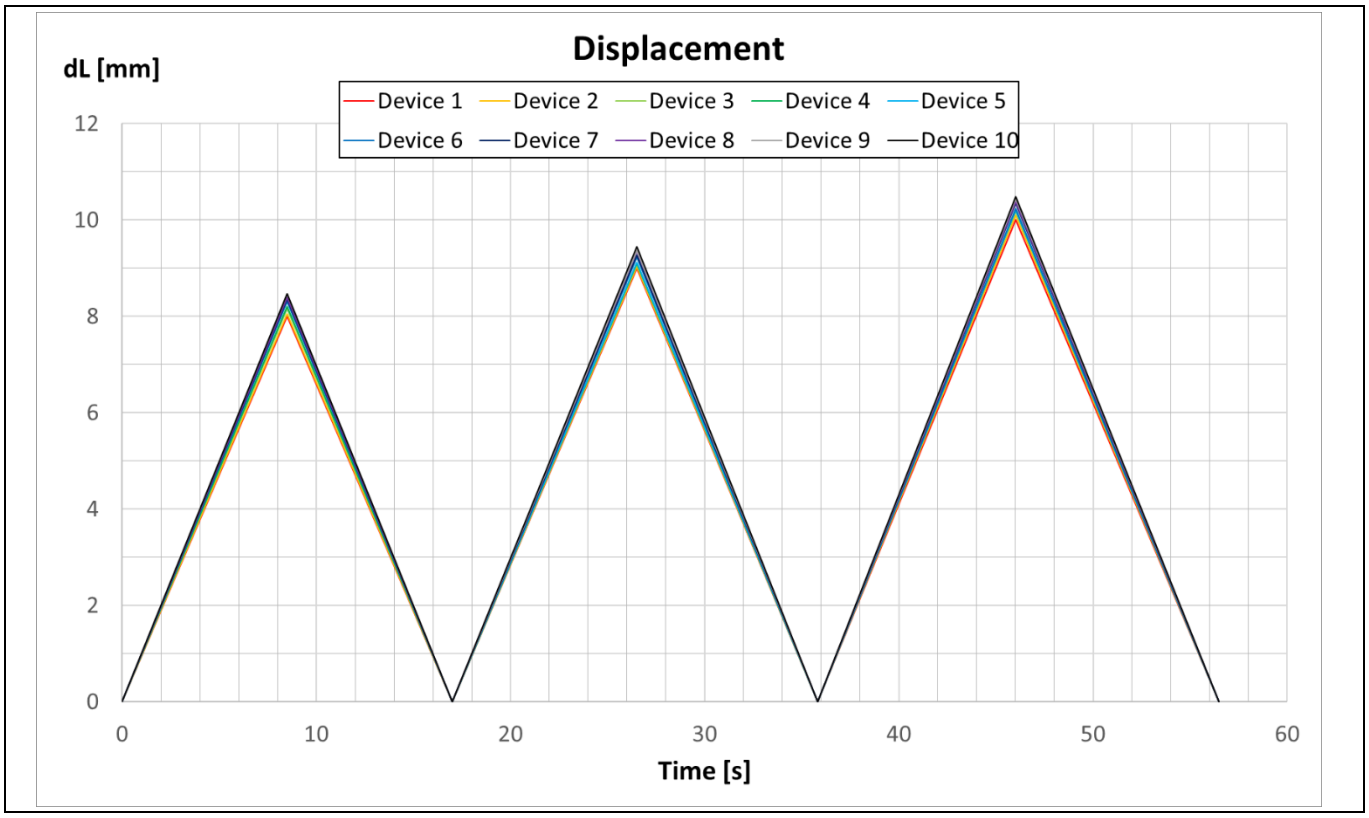


图 29. 弯曲测试——模型

表 7.

器件	循环	$F_{max.}$[N]	dL [mm]	备注
1	3	156	10	
2	3	158	10	
3	3	157	10	
4	3	156	10	从低到高循环三次后出现电气故障
5	3	159	10	从低到高循环三次后出现电气故障
6	3	154	10	
7	3	159	10	
8	3	158	10	
9	2	145	9	从低到高循环两次后出现电气故障
10	3	154	10	

对于压力测试，施加在部件上的压力极大；事实上，安装散热器期间产生的弯曲程度不太可能达到 10 mm 水平。此外，切记，电气故障并非器件故障，而只是器件和 PCB 之间的焊接中断了。

所获数值与底部散热器件类似。

3.2.3 机械仿真

本段将在仿真测试的帮助下对双面散热和底部散热进行机械比较。该想法主要是对可能的应用条件进行模拟，类似于上一章中的热仿真，对双面散热器件与底部散热器件在机械负载期间的稳健性进行研究，该过程将代替散热器的安装过程。

3.2.4 机械仿真——设置

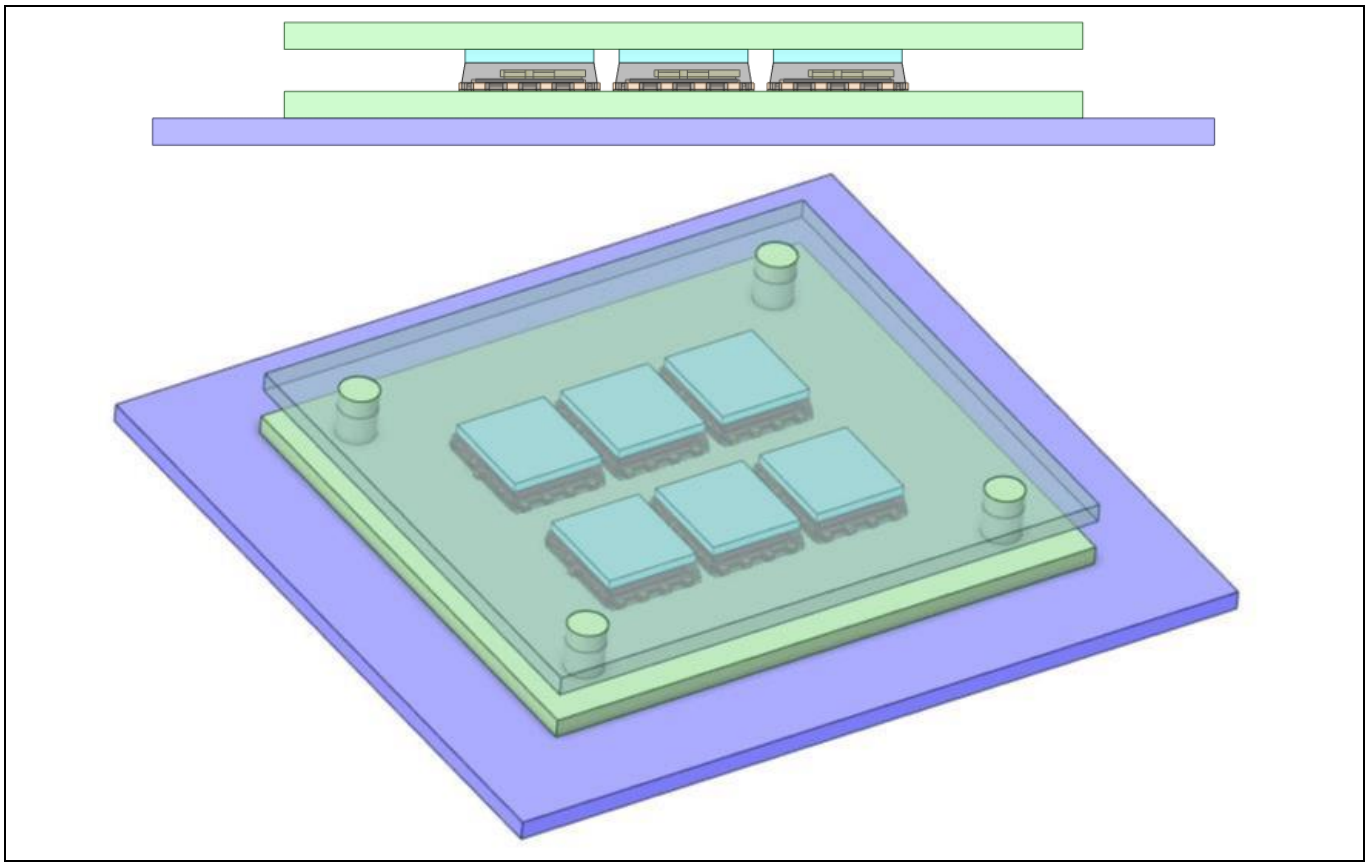


图 30. 用于机械仿真的测试设置（底部散热）

机械仿真所选择的设置与热仿真中所使用的设置类似。图 30 显示了底部散热版本；双面散热采用相同配置。该设置包括：

- 一个总高度为 1.6 mm 的简易 PCB，具有两层 70 µm 的铜
- 六个器件
- 初始厚度为 500 µm 的半软 TIM
- 一个高度为 1 mm 的铝制散热器，四角使用四个螺钉固定。

在这种情况下，为了进行仿真，使用塑料模型制成的散热器。

在螺钉上施加结构负载，从而模拟将螺钉拧紧后散热器的弯曲情况。

3.2.5 机械仿真——结果

在拧紧螺钉的过程中，施加的力主要是为了使散热器和 PCB 产生形变。由于其结构高度对称，仅需要对一半结构进行仿真测试。

[2]

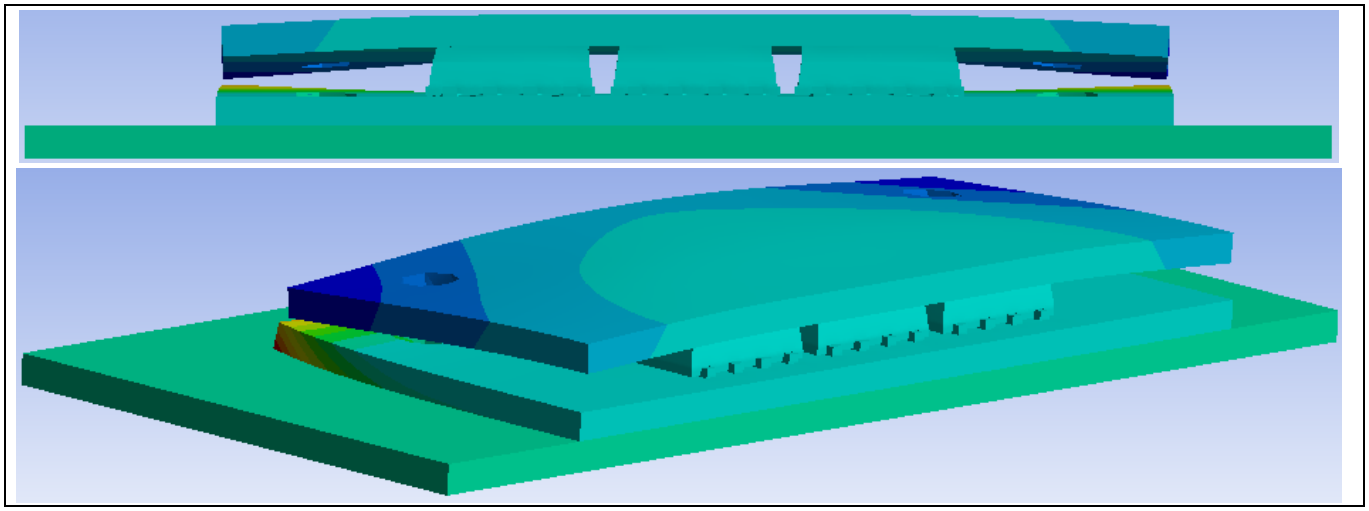


图 31. 施加机械负载后产生的形变

图 31 显示了在施加与螺钉拧紧过程相关的机械负载后，PCB 和散热器的形变情况。图中显示了一个在实际应用中永远不可能实现的极端情况。这样做的目的是，查看在施加了这种极高的力后，器件内部的硅芯片会发生何种变化。但在任何情况下，所施加力都不应超过可使散热器和/或 PCB 产生形变的力。

一旦散热器和 PCB 发生形变，硅芯片也会发生同样的形变。形变方向取决于两个结构中哪一个的柔韧性较低。在实际情况中，较软材料为 PCB FR4 材料，因此硅芯片将跟随散热器的弯曲方向而弯曲。图 32 显示了散热器形变对硅芯片的影响；硅芯片中也可能发生与散热器相同的形变。与边缘的硅芯片相比，中央硅芯片更容易受到该形变的影响。

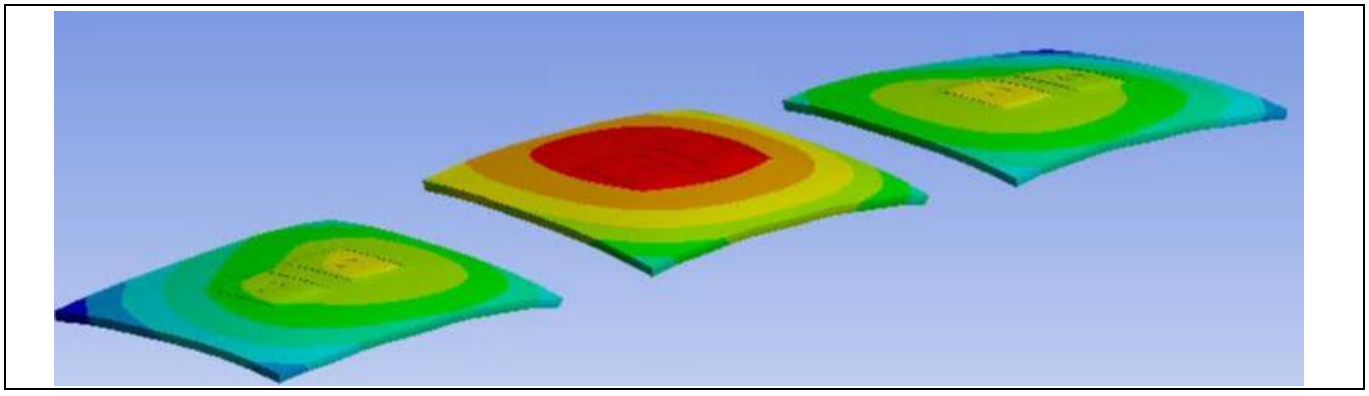


图 32. 硅芯片形变示例

硅芯片形变可能会导致硅芯片结构中出现断裂情况，该种断裂可能会破坏组件或因结构削弱而降低器件寿命；因此，硅级机械应力可作为两种不同解决方案之间的关键比较项：双面散热和底部散热。

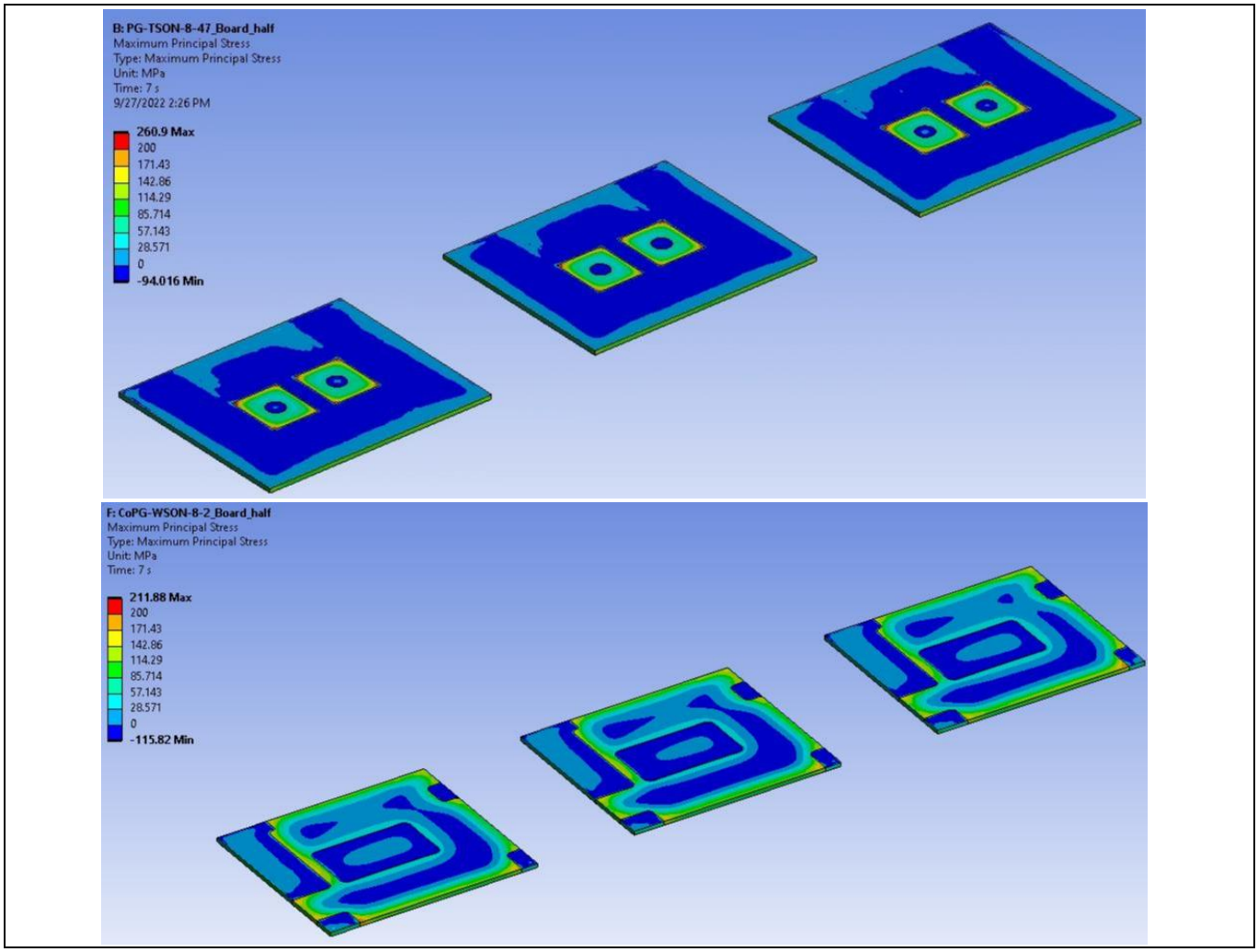


图 33.　　底部散热（上）和双面散热（下）应力比较——系统级

图 33 提供了采用不同芯片底部散热和双面散热器件间的应力比较概况。除最大应力略有不同外，还存在一些相似之处。第一，在夹子与芯片的连接处，应力达到最大值。第二，在塑封覆盖的硅芯片区域应力极低。

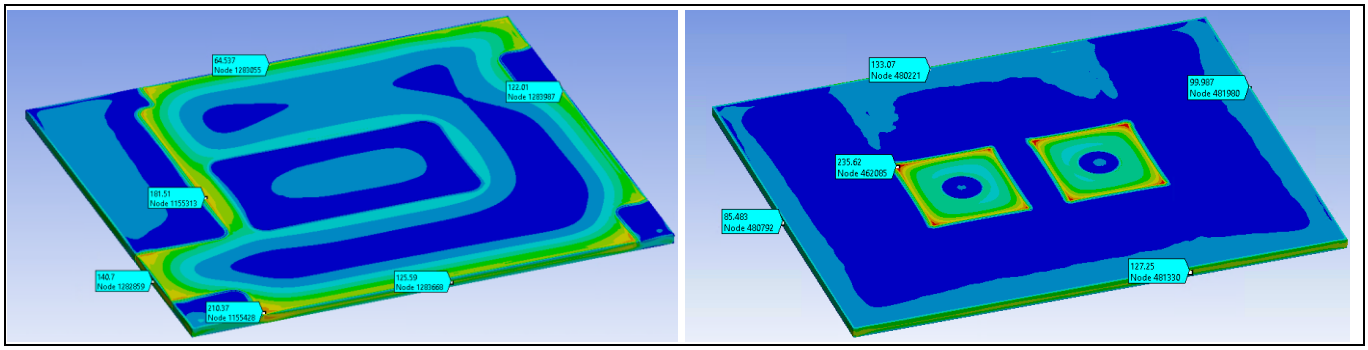


图 34.　　应力比较——硅芯片级

图 34 更详细地显示了芯片级应力。如图所示，与底部散热器件相比，双面散热器件的应力水平更低，因为夹子附着在硅上的较大区域，因此应力分布更广。此外，在边界区域，通常为受损坏较小区域，应力也处于类似的水平。

产品性能

3.2.6 机械性能——结论

对于压力和弯曲测试，所应用的数值远远超过了通常所考虑的应力大小。双面散热所获结果与已知底部散热值一致。此外，从仿真角度来看，可看出双面散热器件与底部散热器件一样稳健。双面散热器件与底部散热器件一样牢固，因此可考虑在现有板上进行替换。

3.3 最大电流

如 [9] 所述，理论上可通过以下公式计算最大电流：

$$I_D(T_C) = \sqrt{\frac{(T_J - T_C) / Rth_{JC}}{R_{DS(on),T_{JMax}}}}$$

如图所示，这意味着器件底部（底部散热）将保持 25° C 的最高温度。

3.3.1 最大电流——计算选项

为了确定双面散热产品的最大电流，可以使用以下方法。我们需要考虑以下事实：一旦器件顶部表面发热，理论上，可将顶部温度固定在一个给定值上。

第一种方法与底部散热相关，因此仅需将封装底部固定在 25℃。就会与底部散热的最大电流相同。这种方法最简单，也是英飞凌科技所选择的方法之一，可以简化采用双面散热替代使用相同 $R_{DS(on)}$ 底部散热的过程。

第二种方法是将底部散热计算方法应用于双面散热，不同的是将顶部和底部的温度均设置为 25℃。在这种情况下，理论上的最大电流将高出约 40% 到 50%。主要与 $R_{thJC（顶部）}$ 和 $R_{thJC（底部）}$ 值有关；对于同类最佳器件来说，由于顶部和底部之间的热阻值类似，因此整体热阻与底部散热相比，其值降为一半，电流增加 40%。

表 8. 比较——底部散热和双面散热之间的最大电流

5x6 PQFN 底部散热	I_D [A] 底部外壳固定为 25°C	5x6 PQFN 双面散热	I_D [A] 顶部和底部外壳固定为 25°C
BSC007N04LS6	381	BSC007N04LS6SC	555
X	301	BSC009N04LSSC	430
BSC014N06NST	257	BSC014N06NSSC	380
BSC016N06NST	234	BSC016N06NSSC	334
BSC028N06NST	137	BSC028N06NSSC	197
X	202	BSC023N08NS5SC	293
X	144	BSC033N08NS5SC	217
X		BSC030N10NS5SC	
BSC040N10NS5	136	BSC040N10NS5SC	197
BSC070N10NS5	80	BSC070N10NS5SC	115
BSC093N15NS5	87	BSC093N15NS5SC	130
BSC110N15NS5	76	BSC110N15NS5SC	117
BSC160N15NS5	56	BSC160N15NS5SC	86

表 8 给出了在将顶部固定为 25° C 的基础上，根据理论计算得出的最大电流增加情况。

产品性能

第三种方法是根据某种 PCB 和散热器热阻，使用一种更实用的计算方法。这种方法可以提供一种更真实的电流增长，但会过度依赖于使用条件。该解决方案背后的想法与 **3.1.1** 段中的想法类似。

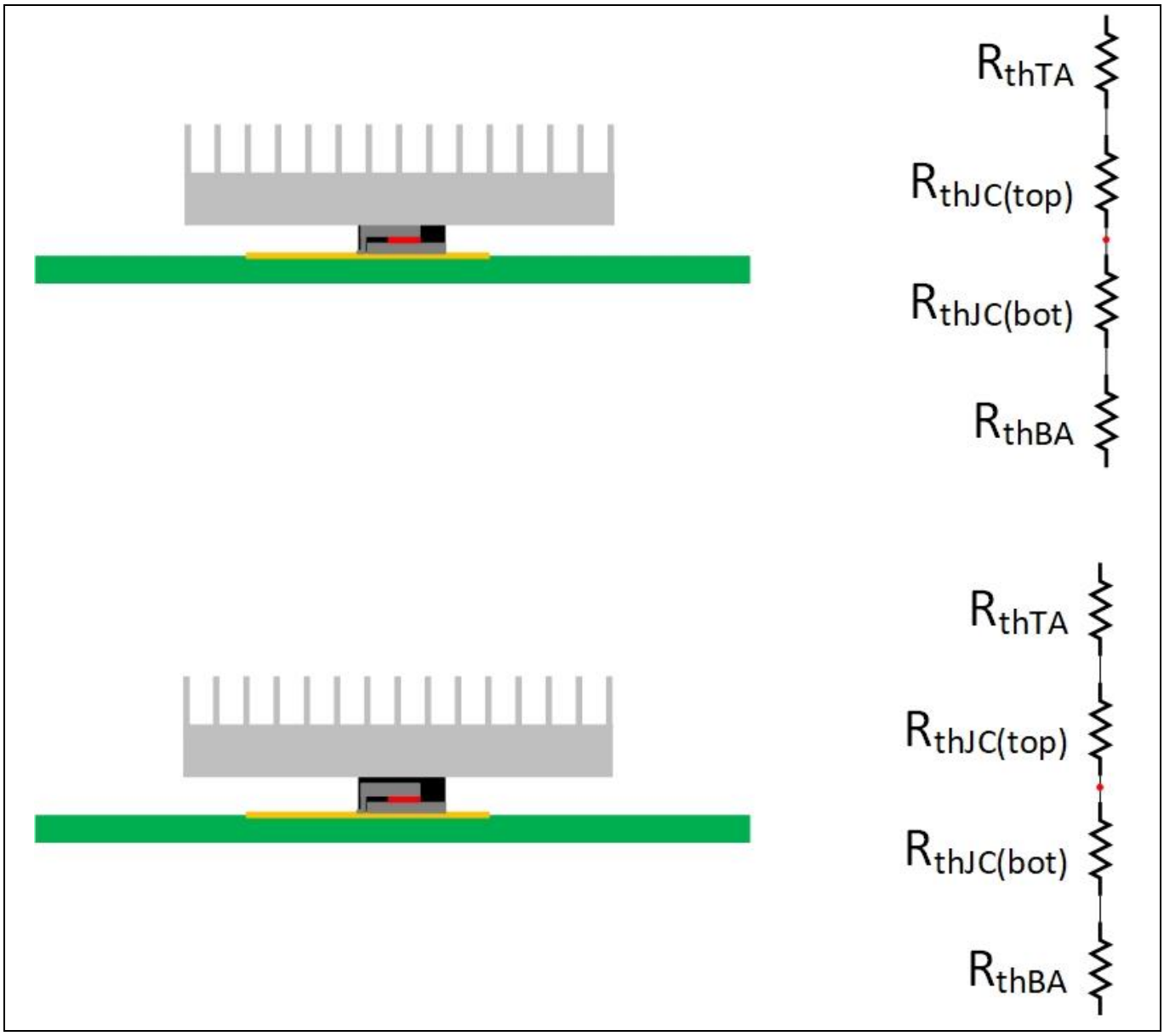


图 35.　　配有散热器的最大电流计算——简化双面散热（上）和底部散热（下）模型

图 35 显示了一种考虑到散热器的简化方法，用于计算双面散热和底部散热的最大电流。带 PCB 的热阻在数据表中表示为 R_{thJA}，PQFN 5x6 热阻通常位于 50 K/W 范围内。该方法背后的假设为：增加一个散热器仅会改变从顶部到环境的热阻。因此，顶部热阻和底部热阻并联，如下所示，可以得出总热阻。

$$R_{th} = \frac{\left(R_{thJC(top)} + R_{thTA}\right) * \left(R_{thJC(bot)} + R_{thBA}\right)}{\left(R_{thJC(top)} + R_{thTA}\right) + \left(R_{thJC(bot)} + R_{thBA}\right)}$$

如公式所示，主要区别在于底部散热和顶部路径双面散热之间，结到顶部的低热阻就是一个优势。

一个相对较小的散热器（如 15 mm x 15 mm x 8 mm）热阻位于 20 K/W 内。因此，在最大电流方面的预期改进位于 20% 范围内。

表 9.　　比较——配备 20 K/W 散热器的底部散热和双面散热之间的最大电流

产品性能

5x6 PQFN 底部散热	I_D [A] 配备散热器	5x6 PQFN 双面散热	I_D [A] 配备散热器
BSC007N04LS6	72	BSC007N04LS6SC	89
X	X	BSC009N04LSSC	X
BSC014N06NST	47	BSC014N06NSSC	57
BSC016N06NST	47	BSC016N06NSSC	57
BSC028N06NST	36	BSC028N06NSSC	44
X	X	BSC023N08NS5SC	X
X	X	BSC033N08NS5SC	X
X	X	BSC030N10NS5SC	X
BSC040N10NS5	27	BSC040N10NS5SC	33
BSC070N10NS5	21	BSC070N10NS5SC	26

表 9 显示了配备散热器的底部散热和配备散热器的双面散热之间的最大电流比较；双面散热电流高出约 20%。

3.3.2 最大电流——结论

许多不同条件会对最大电流造成影响。由于存在依赖关系，因此不可能对产品的最大电流增幅进行单独量化。然而，当使用双面散热取代底部散热时，在最大电流方面可实现 20% 到 50% 的改进。

4 顶部散热——最佳实践

为了完全体现双面散热的优势，必须采取一系列预防措施，特别是在安装散热器的过程中。本段介绍了一些关键点，请参阅更专业文献以获取有关的详情。

4.1 双面散热结构

为了有效使用双面散热，需要特别注意散热概念。

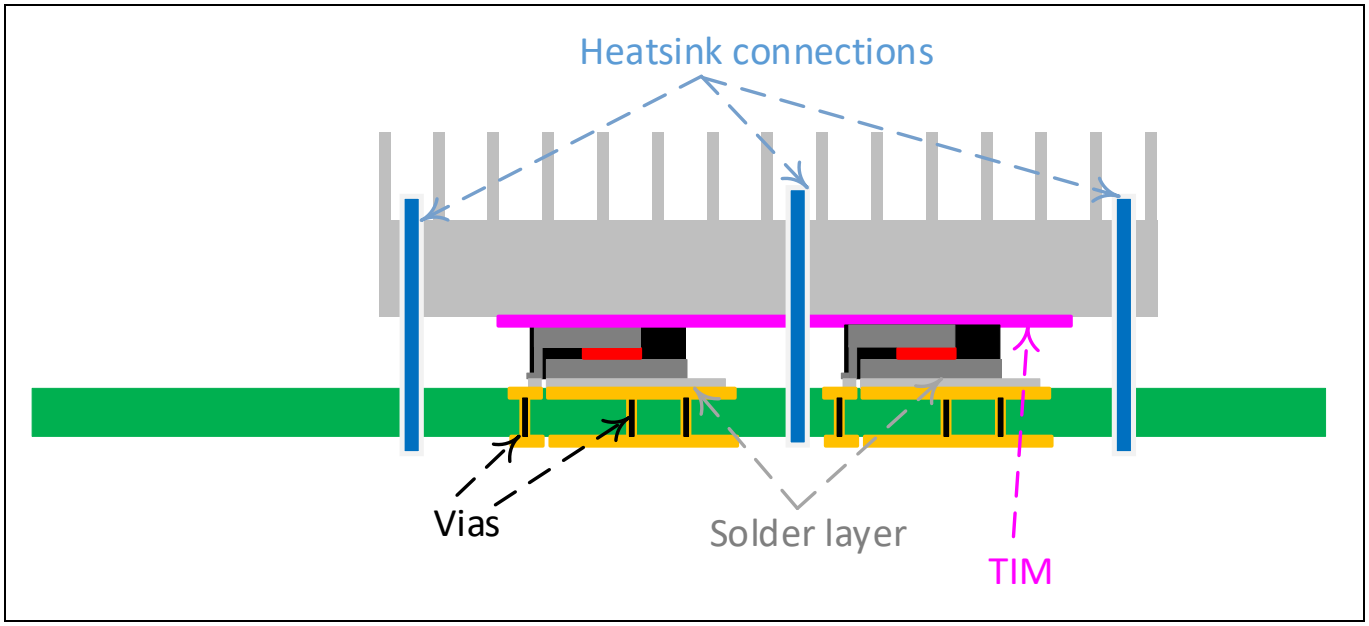


图 36. 配备三点式散热器连接的双面散热概念

图 36 显示了双面散热基本元件的简化版本：

- PCB 上的封装焊接
- 通孔结构
- TIM
- 散热器连接

4.2 PCB 上的封装焊接

文献[8] 中包含有关 PQFN 5x6 焊接的一般建议，除此之外需要特别注意的是，[10] 中涉及有关封装垂直倾斜（立碑）的风险信息——通常由倾角决定。图 37 给出了有关该问题的概念（夸大）。

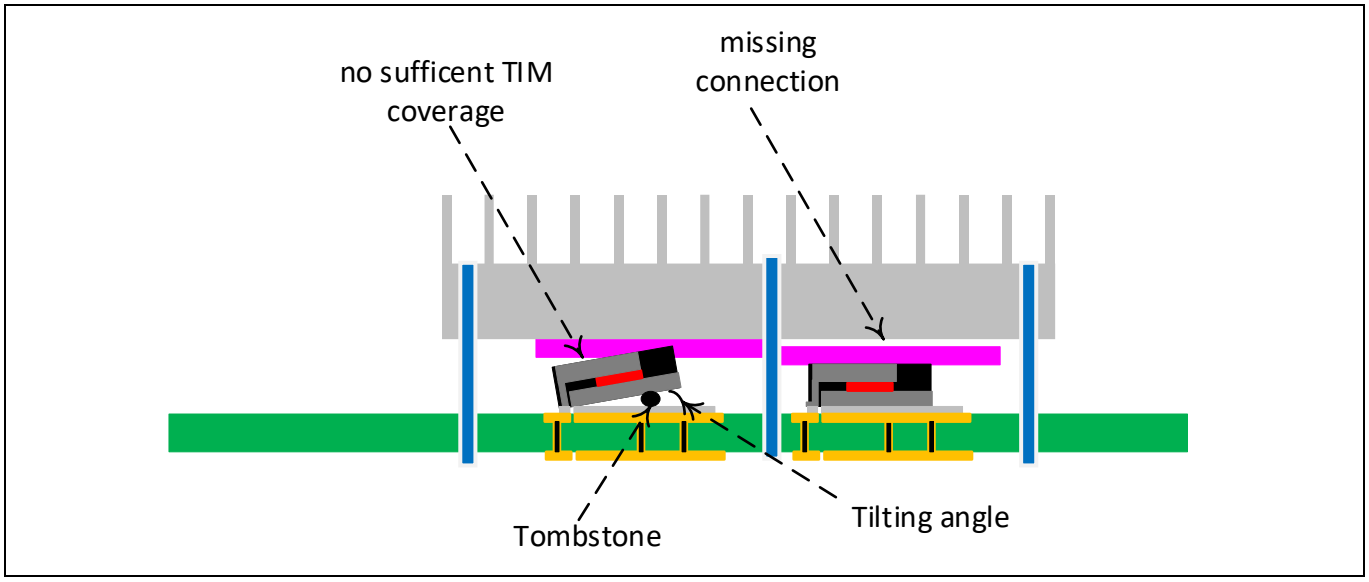


图 37. 元件立起效应

造成这种情况的根本原因可能是多方面的，从布局到焊接过程中出现的杂质都有可能导致该问题。通常情况下，这种影响可以忽略不计，因为即使在同一模式下运行的底部散热功率 MOSFET 有所倾斜，在大多数情况下也不会影响性能。

然而，在双面散热的情况下，过度倾斜可能会大幅增加受影响器件的热阻，造成热点问题，缩减使用寿命。

4.3 通孔结构

在焊盘下放置通孔是将 PCB 作为散热器并降低器件热阻的一种非常常见的方式。最佳通孔数量与 PCB 生产是两码事，需要着重研究生产过程。

我们必须强调，许多测试和仿真表明，通孔数量增加到一定程度对热阻的成比降低作用并不大。

此外，如果通孔直径过大，则会增加对焊料产生毛细效应的风险。这样一来，焊料可以流过通孔，在焊盘上留下空隙，增加热阻。

4.4 热界面材料

为了补偿元件立起效应、类似组件的高度差异和顶部表面的粗糙度，在许多情况下，需要在封装顶部和散热器底部之间引入一个缓冲层；即填充热界面材料 (TIM)。如 [11] 所示，不同材料可在不同的状态下形成 TIM（如润滑脂、软化合物），但该层的主要用途为：

- 平衡高度差，补偿倾斜/元件立起
- 填补组件顶部的任何粗糙部分
- 提供充足的电气隔离，同时具有良好的热连接

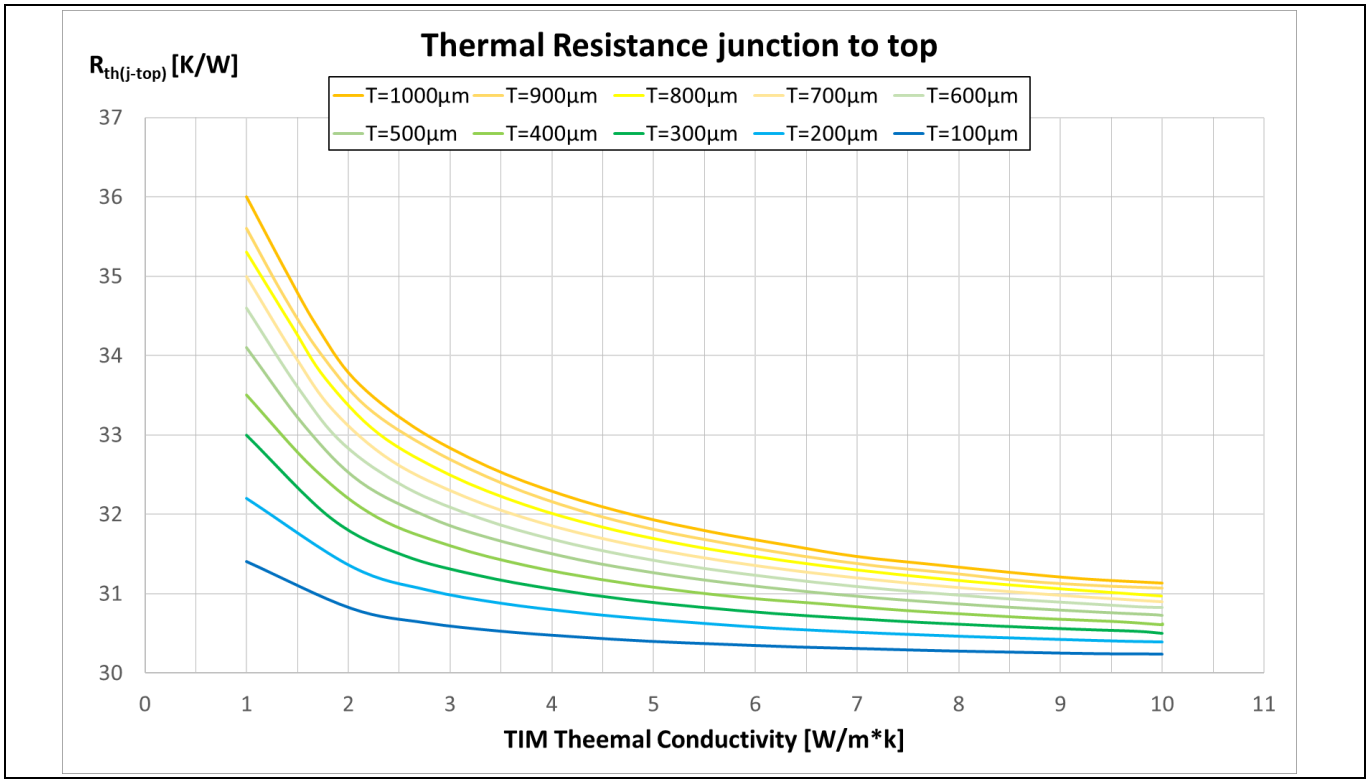


图 38. TIM 的导热性和厚度对热阻的影响

图 38 显示了 TIM 厚度对产品热性能的影响。根据常识，TIM 越薄，热阻越低，TIM 的导热性越强，热阻也越低。

从比例上看，很明显，在无 TIM 的理想情况下，热阻为 30 K/W，在 TIM 导热性最差且形成较厚层的情况下，热阻为 36 K/W，TIM 对热阻的影响约为 20%。

此外，可以看出，当厚度和导热性超出某一特定值，改进可忽略不计，约为 3%。因此，切勿盲目追求改进 TIM 的厚度和导热性。

4.5 散热器连接

在 **3.2** 段中可以看出，该组件本身在抗压和抗弯曲方面相当稳健，但由于次级效应，散热器的安装应谨慎进行；因此，在安装散热器时应采取特别的预防措施。[10] 为 HDSOP 提供了一些基本指示，该指示也可以重新用于 5x6 PQFN，如下所述：

- 本应用说明中所考虑的产品均为“低电压”产品，因此通常情况下，遵循 IPC-2221 规则中的隔离距离即可。此外，这些产品封装中未露出引线，这可能会减少散热器和 TIM 以外高压节点之间的距离。因此，建议使用垫片，以保证 PCB 和散热器之间的最小距离。
- 由于 TIM 存在最大压缩率，因此需要保证最小距离。其风险是，从长远来看，材料会失去机械特性，不再具有预期性能。
- 此外，根据散热器的尺寸和形状，在布局阶段应准备多个散热器和 PCB 之间的连接点，确保在拧紧螺钉时，PCB 和散热器不会发生弯曲。

5 Spice 模型

电气仿真可能有助于评估双面散热相较于底部散热的优势。如果已存在配备底部散热的转换器模型，则可以轻松使用底部散热英飞凌 Spice 模型取代该模型。

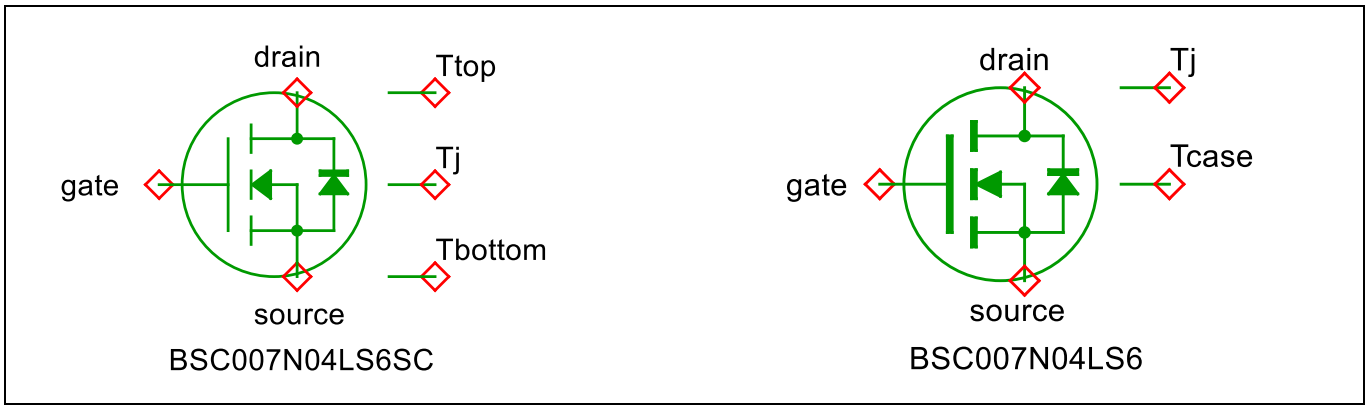


图 39. 英飞凌科技的双面散热（左）和底部散热（右）仿真模型

图 39 展示了英飞凌科技的双面散热模型。与底部散热的主要区别为，该器件当前配置了六个端子，而先前只配置了五个。新端子 (T_{top}) 代表本身拥有热阻的顶部裸露焊盘，由夹子大小和焊接结构决定。

为了正确使用该模型，客户需要在 T_{top} 端子上添加一个代表 TIM 和散热器组成结构的热网络。

6 垂直电流传导

垂直 MOSFET 在业界广泛使用后，相关人员对垂直传导 [12] 进行了首次实验。

该概念背后的基本想法很简单：常识表明，改善电流传导也有利于热传导；例如，在一层中增加铜厚度不仅会改善该层中的电阻和所发生的传导损耗，而且还有助于热量分布，从而降低热阻。

因为英飞凌科技双面散热的顶部裸露焊盘以铜材料为基础；所以可以进行焊接，从理论上来看，顶部裸露焊盘不仅可以用于热传导，也可以用于电流传导。这就需要将顶部裸露焊盘焊接到铜条上，不仅可以作为散热器，还可以作为电流扩散器。

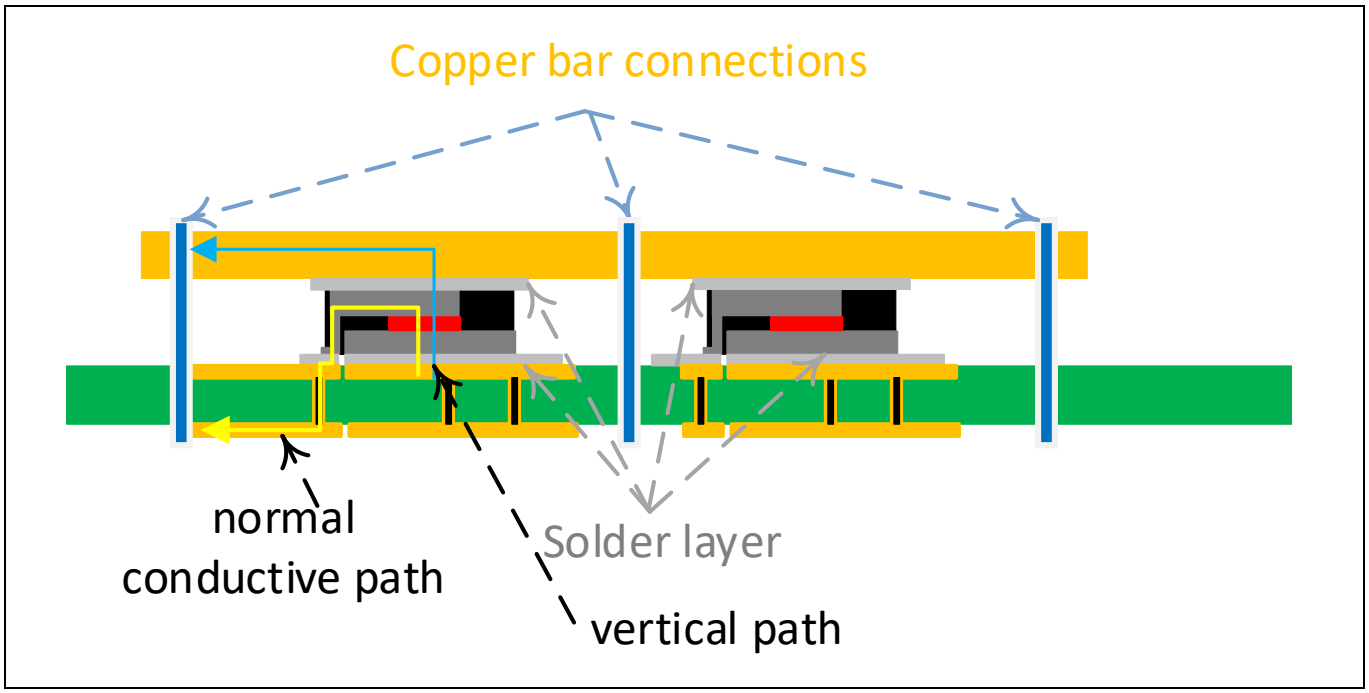


图 40. 垂直传导（蓝色）对比水平传导（黄色）

图 40 显示了该想法的原理。从漏极开始的电流有可能通过夹子和 PCB 的水平路径流回初始点（图中可以表示 GND 连接）。很明显，如果双面散热器件顶部存在一个焊接散热器，那么同样的电流仅会垂直穿过芯片——不会经过夹子的水平路径，而在铜条的水平路径上传导。

垂直传导的优势如下：

- 在电流传导路径中无需考虑夹子的水平电阻部分，因此排除了其对整体电阻的贡献。
- 无需穿过 PCB 中的铜层，而是利用铜条进行传导，相比于 PCB 中的铜层，铜条的电阻相对小得多。
- 铜条还可以用作散热器。

然而，这一点并不容易实现。所面临的挑战如下：

- 首先，在 PCB 安装的整个处理流程中，必须做好铜条的焊接。与相对简单的散热器机械连接相比，有可能必须执行第二次或第三次回流焊，这样将会给整个过程造成诸多风险。
- 此外，还应该准备第二块钢网，以便在器件顶部刷上适当的焊锡膏。事实上，如果刷的焊锡膏过多，可能会在器件顶部和底部之间形成一个焊桥（器件仅 0.5 mm 高）。

垂直电流传导

- 我们会在器件的夹子顶部进行铜条焊接；由于热膨胀系数不同，可能会给夹子-芯片结构增加一些机械应力，立即对设备功能造成损害——更糟的是，由于微裂纹的形成，功能上的即时故障无法被检测出来，可能会减少使用寿命。

7 总结

本段汇总了本文档所述的关键信息：

- 表 10 提供了一些简单规则，以帮助设计师选择使用双面散热和底部散热的时机；在任何情况下，我们都建议将布局设计为可兼容两种封装。
- 表 11 提供了一份简短的双面散热优势列表。
- 表 12 提供了一份简单的双面散热最佳实践建议列表。

表 10. 双面散热和底部散热用例

条件	双面散热	底部散热
板尺寸	板面积与功率 MOSFET 的面积大小相当	板面积大于功率 MOSFET
板上铜含量	板上铜含量极低（一层或两层仅 1 oz）	板上含有多层厚铜（超过两层 2 oz 铜层）
板性能	负载偏移量高；峰值负载可能是典型负载的两到三倍甚至更多；实际上，相比于低热阻，更需要的是低热容。	负载偏移量低；峰值负载仅比典型负载高出几个百分点；需要低热阻，且 PCB 可提供充足的热容
其他热源	该板包含多个热源，这些热源以某种方式由同一铜迹线连接，并集中在 PCB 的一个小区域内。	将多个热源分割在 PCB 周围，不共享电源线。

表 11. 双面散热优势

器件属性	客户利益
与底面散热相比，结到顶部的热阻更低	添加散热器可能具有以下优势： • 增加峰值和稳态功率密度（20% 到 40%） • 降低 PCB 温度（可靠性更强）(20%) • 在类似设备之间平衡温度
占用空间和器件编号与 SuperSO8 兼容	可轻松替换，以最小的评估工作量提高功率密度

表 12. 双面散热最佳实践

处理过程	建议
板上焊接	元件立起效应：注意布局和焊接过程，避免器件垂直倾斜，产生热点风险。
焊盘下通孔	毛细效应：数量、通孔直径和间距应根据焊接过程进行相关调整
TIM	尽量减少厚度，但不能超过建议值。 我们应考虑散热器安装过程中所施加的机械应力和使用寿命期间的热机械应力。
散热器安装	最大限度减少置于散热器下部组件的机械应力、PCB 或散热器弯曲的可能性（三点式散热器连接）。

8 参考文献

8.1 应用说明参考文献

[1] Herbsommer、J./ Noquil、J./ Jauregui、D./ Bull、C./ Lopez、O.：新型热增强功率封装；德州仪器；在线获取

[2] 东芝公司：*DSOP Advance，一种热增强型双面散热封装，可提高大电流应用的电源效率*；在线获取

[3] Lang, D.： *使用飞兆半导体Dual Cool™MOSFET 应用说明AN-9056*；应用说明；在线获取

[4] 英飞凌科技股份公司：*Eval_IMD700A_FOC_3SH*；产品页；在线 获取

[5] Henkel：*Bergquist*；产品页；在线获取

[6] ANSYS 公司： Ansys；在线获取

[7] 英飞凌科技股份公司：*Eval_600W_12V_LLC_C7*；产品页；在线获取

[8] 英飞凌科技股份公司：*应用说明 AN-1136 分立功率四方扁平无引线(PQFN)*；应用说明；在线获取

[9] 英飞凌科技股份公司：*英飞凌OptiMOS™功率MOSFET 数据表说明*；应用说明；在线获取

[10] 英飞凌科技股份公司：*用于高电压应用的创新顶部散热封装解决方案*；应用说明；在线获取

[11] 英飞凌科技股份公司：*采用顶部散热带引脚TO (TOLT) 封装的功率MOSFET*；应用说明；在线获取

[12] Naeve、T./ Kahrimanovic、E./ Palm、P.：*具有半桥电路且每个半桥电路具有相位输出引线的多相逆变器装置*；Patent；Justia；2022-07-14；在线获取

8.2 其他参考文献

[13] 英飞凌科技股份公司：*组装英飞凌封装的一般建议*；在线获取

[14] 英飞凌科技股份公司：*SSO8 封装热数据表*；数据表；在线获取

[15] 英飞凌科技股份公司：使用功率 MOSFET 进行设计.如何避免常见问题和故障模式；应用说明；在线获取

[16] Fischer Elektronik GmbH & Co. KG：散热器目录；在线获取

[17] 英飞凌科技股份公司：英飞凌封装网页；在线获取

修订记录

文档版本	发布日期	变更说明
V 1.0	2022/11/22	首次发布

商标
所有提及的产品或服务名称和商标均为其各自所有者的财产。

版本 2022-11-22
出版方
英飞凌科技股份公司
81726 Munich, Germany

© 2022 英飞凌科技股份有限公司
保留所有权利。

您对这份文档有问题吗？
电子邮件：erratum@infineon.com

参考资料

AN_2210_PL51_2211_182911

重要声明
本文档所提供的任何信息**绝不应当**被视为针对任何条件或者品质而做出的保证（质量保证）。英飞凌对于本文档中所提及的任何事例、提示或者任何特定数值及/或任何关于产品应用方面的信息均在此明确声明其不承担任何保证或者责任，包括但不限于其不侵犯任何第三方知识产权的保证均在此排除。此外，本文档所提供的任何信息均取决于客户履行本文档所载明的义务和客户遵守适用于客户产品以及与客户对于英飞凌产品的应用所相关的任何法律要求、规范和标准。

本文档所含的数据仅供经过专业技术培训的人员使用。客户自身的技术部门有义务对于产品是否适宜于其预期的应用和针对该等应用而言本文档中所提供的信息是否充分自行予以评估。
如需产品、技术、交付条款和条件以及价格等进一步信息，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽（www.infineon.com）。

警告
由于技术所需产品可能含有危险物质。如需了解该等物质的类型，请向离您最近的英飞凌科技办公室接洽。

除非由经英飞凌科技授权代表签署的书面文件中做出另行明确批准的情况外，英飞凌科技的产品不应当被用于任何一项一旦产品失效或者产品使用的后果可被合理地预料到可能导致人身伤害的任何应用领域。