

SMPD 封装的安装和 散热解决方案

目标

本应用指南讨论了表面贴装功率器件（SMPD）封装的各种安装解决方案。安装说明分别针对单个器件和多个器件提供。公差图解释了围绕SMPD进行设计时的重要细节。通过一个简单的实验，简要说明了在给定设计下确定热阻的步骤。

应用

- 电机驱动
- 光伏逆变器
- UPS系统
- 直流-直流转换器

目标受众

本文件适用于SMPD封装功率半导体器件的潜在用户，他们需要熟悉合适的安装和散热解决方案，以确保器件正确的安装和散热。

联系方式

有关安装SMPD类型器件的更多信息，请联系Littelfuse Power Semiconductor产品和应用专家团队：

- 北美洲 – NA_PowerSemi_Tech@Littelfuse.com
- 中南美洲 – CSA_PowerSemi_Tech@Littelfuse.com
- 欧洲，中东和非洲 – EMEA_PowerSemi_Tech@Littelfuse.com
- 亚洲、澳大利亚和太平洋岛屿 – APAC_PowerSemi_Tech@Littelfuse.com

目录

1. 介绍	4
2. 推荐的PCB和散热器安装	4
2.1. 焊接说明	5
2.2. SMPD布局建议	5
2.3. 绝缘管理	6
2.4. 热界面材料的使用	6
2.5. 散热器准备	7
3. 推荐的安装方法	7
3.1. 使用夹具安装单个SMPD器件	7
3.2. 使用螺丝安装SMPD器件	8
3.3. 围绕SMPD构建的整体方法	12
4. 热性能验证	13
4.1. 准备和校准	13
4.2. 确定最终设计系统中的热阻	14
5. 结论	14

图表列表

图1. SMPD封装插图	4
图2. 将SMPD安装到散热器上的顺序	4
图3. SMPD B封装外形和拓扑结构, IXA40PG1200HG	5
图4. 焊接区域	5
图5. 利用热界面材料(TIM)改善热传导.....	6
图6. 安装SMPD对散热器表面的要求	7
图7. 使用夹具安装SMPD	7
图8. 作用力和热阻之间的相关性, R_{thJC}	8
图9. 缺少垫片导致PCB弯曲	8
图10. 使用圆柱形垫片或螺旋式垫片螺柱安装SMPD	9
图11. 封装高度和公差	9
图12. 垫片距离对PCB弯曲的影响	10
图13. 由SMPD器件构建的变频器的功率部分	10
图14. 使用n+1个螺丝将n个器件安装在一行中	11
图15. 使用支架安装的多个SMPD	11
图16. 多功能封装, 可将PCB固定到位并在需要的地方施压	12
图17. 测试设备和热依赖性的原理图	13

1. 介绍

表面贴装功率器件（SMPD）封装是IXYS（Littelfuse公司）于2013年1月推出的创新解决方案。SMPD扩展了IXYS功率半导体器件的ISOPLUS™封装系列。它的特点是直接铜邦定（DCB）基板，带有铜引线框架、铝邦定线和塑封材料。DCB基板是电绝缘，并允许一个基板上的多个半导体芯片形成不同的电路拓扑。将铜引线框架与铝邦定线相结合，形成了一种表面安装型器件，简化了焊接和组装。塑封提供良好的密封和半导体保护。DCB基板的背面裸铜设计，使得半导体器件和散热器可以大面积连接。图1显示了一个SMPD封装示意图。

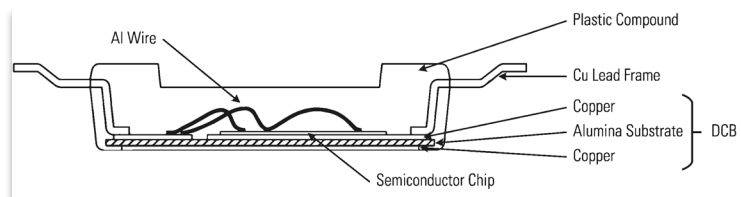
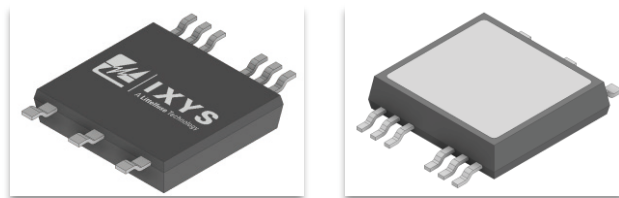


图1. 封装示意图



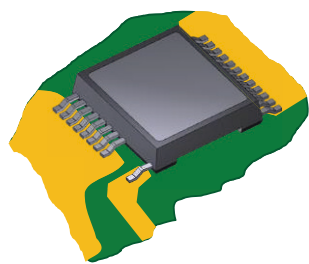
SMPD封装为电力电子应用提供了如下独特的性能：

- 2500 V的高电压绝缘强度
- 与TO-247或TO-264等标准封装相比，热阻更低
- 增强了定制拓扑的灵活性
- 与TO型封装相比，具有更高的载流能力
- 内部结构旨在减少寄生电感和寄生电容等寄生效应，从而提高EMI性能

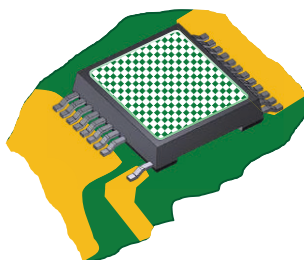
所有这些优点使SMPD成为硅和碳化硅功率半导体的优选封装。

2. 推荐的PCB和散热器安装

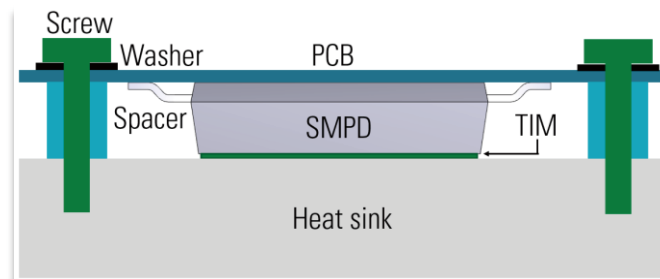
SMPD是一种表面贴片封装。这些器件采用最先进的工艺焊接到PCB上，需要一层热界面材料(TIM)来确保从器件到散热器的高导热率。在焊接和使用TIM完成后，可以通过安装螺钉将组件安装到散热器上。图2显示了一个散热器组件的示例。



(a) SMPD-X焊接至PCB上



(b) 热界面材料的使用



(c) 使用螺钉和垫片将器件翻转安装到散热器上

图2. 将SMPD安装到散热器上的顺序

2.1. 焊接说明

作为SMD器件，所有SMPD封装都可以用三种不同的方法进行焊接：

- 使用260-287°C的烙铁进行选择性地焊接——注意确保烙铁的加热功率和热容量与元件的尺寸相适应，对管脚加热不超过10秒。
- 使用符合IEN61760-1的温度曲线进行波峰焊——防止DCB区域粘连焊料。卡普顿式胶带可以用来防止污染。
- 使用IPG/JEDEC J-STD-020E中所述的温度曲线进行回流焊

Littelfuse强烈建议使用符合RoHS和REACH标准的无铅焊料。

2.2. 布局建议

SMPD-B封装可以支持多种拓扑，包括单管和多管器件，以及升压或半桥等更复杂的拓扑。例如，图3显示了集成1200V IGBT半桥的SMPD-B。SMPD-B封装设计用于工作电压高达630V rms的应用。

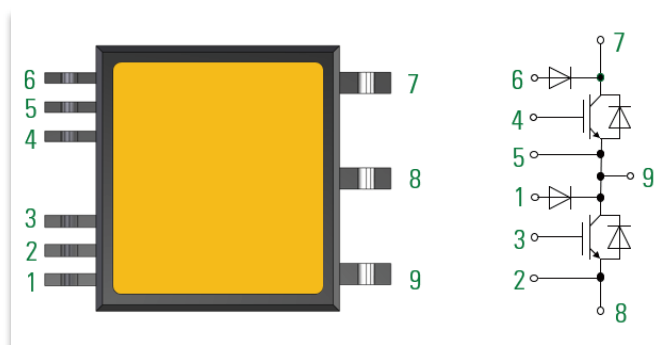
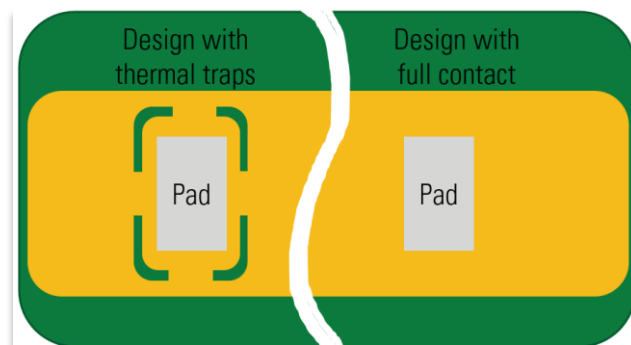


图3. SMPD-B封装外形和拓扑结构, IXA40PG1200HGLB



(a) 装有thermal traps (b) 完全接触

图4. 焊接区域

使用圆角形状作为焊盘被认为是一种良好的做法，由于SMPD-B封装用于高压应用，圆角有助于降低矩形角上的电场应力，高压焊盘是引脚7、8和9，建议拐角半径为0.6毫米或25密耳，对于PCB走线的角度和多边形铜箔，建议采用相同的做法。

一种常见的方法是在较大的铜区域应用thermal traps，以改进焊接工艺。如图4所示，这些thermal traps可防止焊接产生的热量逸出到更大的铜区域，从而有助于防止形成冷焊点。但是可用于承载电流的横截面会减小。

需要注意的是，thermal traps 的设计要适中，以便有效地阻挡焊接过程中产生地热量，同时以保持足够的横截面来通过电流。

SMPD的内部结构设计也是为了将热量传递到引脚，以增强散热效果。引脚处的thermal traps可能会阻止热量正常散发；因此，最好采用全接触面积的设计。

2.3. 绝缘管理

设计PCB布局时需要考虑两个主要参数：

- 电气间隙 —— 两点之间最短的距离
- 爬电距离 —— 沿着固体材料表面上从一点到另外一点不间断的最短路径

在高电压环境中，必须防止不同电压级别之间的电弧放电。电弧发生在电气间隙距离上，因此最终系统中的预期电压水平决定了焊盘和走线之间的距离，以及带电体和散热器或其它接地器件之间的距离。即使两点之间的间隙选择得足够大，绝缘强度也会在较长的时间内被导电颗粒降低。这取决于污染程度，这与该器件使用的环境条件有关。

IEC60664-1深入探讨了在目标设计中确定爬电距离和电气间隙时需要考虑的相关条件。

2.4. 热界面材料的使用

为了获得合适的散热器接触表面，必须使用热界面材料(TIM)，它降低了壳体与散热器之间的热阻 R_{thch} 。热界面材料有热垫和热脂/化合物两种。与不绝缘的分立封装不同，SMPD封装采用DCB结构，该结构使用一层陶瓷作为电气绝缘。该封装具有高达2500 V的绝缘电压，可选择使用非绝缘型的热界面材料，不建议使用绝缘型的热界面的材料，例如用于分立封装器件的硅胶垫。与热脂/化合物或导电热垫相比，这些材料本质上表现出更高的热阻。

热界面材料应均匀地涂在器件基板或散热器表面。理想情况下，使用丝网印刷可实现准确和可复制的结果。

由于不需要与TIM层进行电气绝缘，因此建议使用非常薄的TIM层，以便材料刚好填充器件铜垫和散热器之间的间隙和空隙，如图5所示。

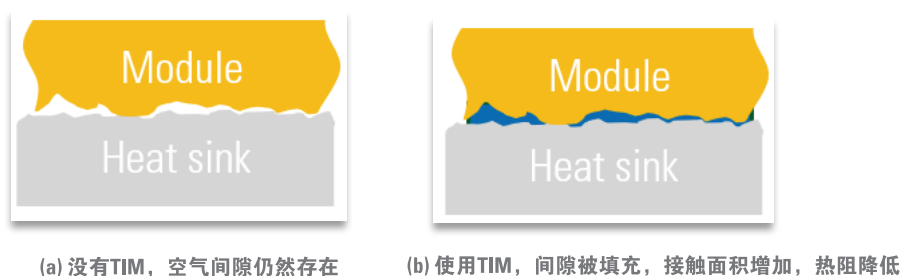


图5. 利用热界面材料(TIM)改善热传导

如果考虑使用固体隔热垫，则最好使用具有高导热性的较软材料，以更好地填充间隙。隔热垫应尽可能薄，以提供尽可能低的热阻。安装机械装置还需要在热界面材料上提供适当的压力，以确保低热阻值。

2.5. 散热器的要求

当SMPD器件焊接到PCB板时，DCB基板的铜侧保持裸露，以便更好地进行热管理。散热需要安装散热器，如图6所示。SMPD器件中没有安装孔；因此，散热器应该使用螺钉或类似的机械方式安装在靠近器件的位置。PCB中相应的安装孔需要成为布局的一部分。为确保较低的热阻，散热器的接触表面必须平坦、平整且干净。对于安装区域，散热器表面质量必须达到或超过图6中给出的值。

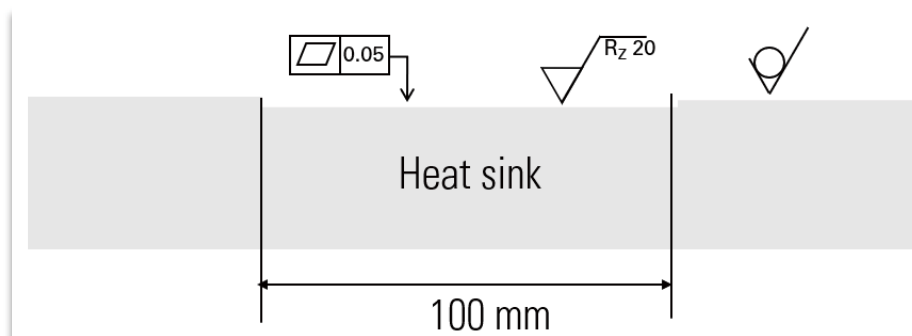


图6. 安装SMPD的散热器表面要求

安装前，建议用合适的清洁剂清洁表面。

3. 推荐的安装方法

安装SMPD可以通过多种使用成熟的方法方便地完成。可以使用螺钉或夹具获得低热阻所需的压力来完成。

3.1. 使用夹具安装单个器件

在DC-DC转换器中使用的单个器件可以使用合适的夹具连接到散热器上。设计图如图7所示。

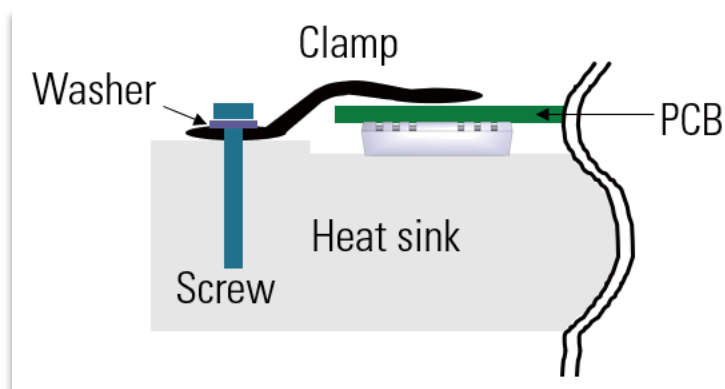


图7. 使用夹具安装SMPD

有几家制造商提供各种材料、形状和尺寸的夹具，可供考虑。施加在模块上的力需要安全地超过50牛顿。如图8所示，这个最小的力对于实现正确的热连接是必要的。

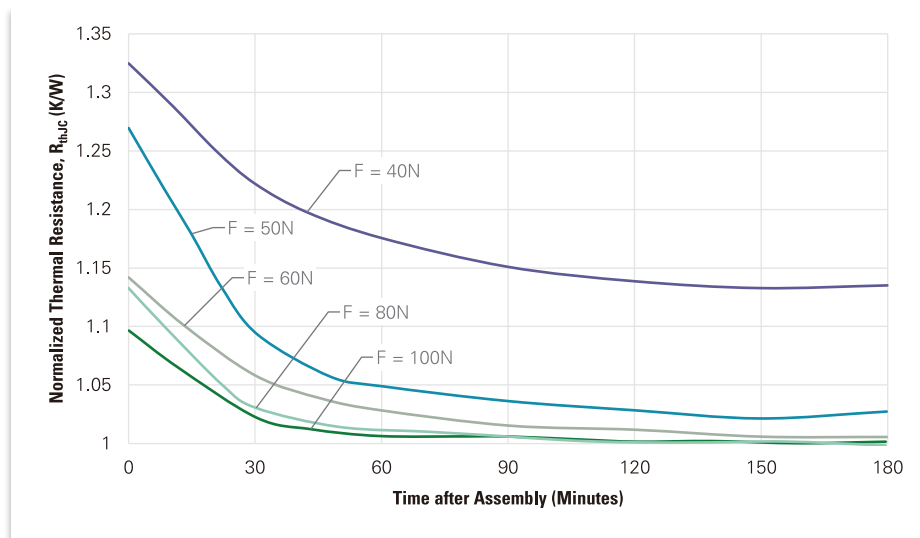


图8. 作用力和热阻之间的关系， R_{thJC}

3.2. 使用螺钉安装SMPD

通常，用螺钉安装SMPD，使用PCB施加必要的压力是一种选择。这样做时，需要考虑两个重要的细节：

- 为了建立适当的热接触，需要实现压力的均匀分布
- 需要放置垫片，防止PCB过度弯曲，同时保证施加必要的压力。

如图9所示，不使用垫片可能会导致PCB发生不必要的弯曲。需要防止这种情况，因为安装在弯曲区域的PCB板和元件的机械应力可能会导致现场瞬间缺陷或早期失效。

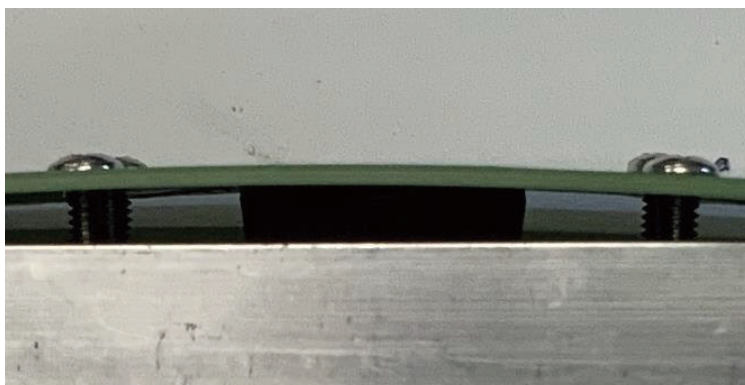


图9. 因缺少垫片导致PCB弯曲

在图10中，提供了两个被认为是做得比较好的示例。



图10. 使用圆柱形垫片或螺旋式垫片螺柱安装SMPD

虽然用两个圆柱形垫片安装单个器件是一项简单的任务，但为焊接了多个器件的PCB对齐垫片却是一项挑战。在这种情况下，将间隔螺柱拧入散热器并保持在原位是一个很好的解决方案。这种螺柱有公/母或公/公两种结构，其选择取决于设计人员的偏好。

此外，间隔螺柱可以由非导电材料制成。这样可以将散热器与PCB隔离。因此，固定PCB的金属螺钉或螺母不会与散热器进行电连接。这对于PCB布线时的电气间隙和爬电距离有帮助。

如果组件的所有元件都不导电，就不用再考虑绝缘距离了。使用塑料元件进行安装仍然需要达到每个器件的安装力。

为了保证图10所示方向上的力F，有必要详细研究封装和垫片公差。数据手册中给出的图纸包括封装高度和相关公差。对于SMPD-B、SMPD-X和miniSMPD，详细信息如图11所示。

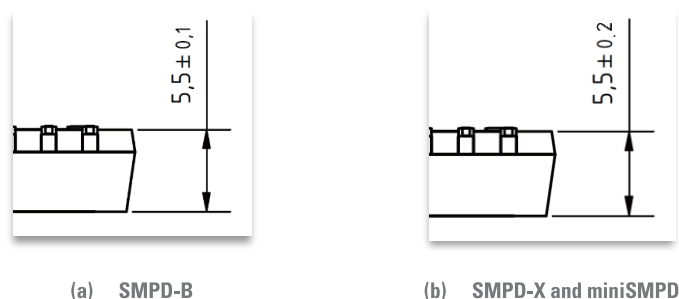


图11. 封装高度和公差

合适的垫片必须保证其高度始终略低于SMPD封装的高度。由于垫片本身具有公差，因此必须注意封装和垫片的任何可能组合保持在有效范围内。

SMPD-B封装的高度为 5.5 ± 0.1 毫米，垫片必须保持在5.4毫米以下，包括其自身的公差。合适的元件可以是标称高度为5.4毫米、公差为-0.1毫米的圆柱体。在最坏的情况下，这可能导致高度为5.6毫米的封装和5.3毫米的垫片的组合，高度差为0.3毫米。在SMPD-X和miniSMPD的情况下，由于这些封装的公差较大，这一差异会增加到0.5毫米。

通过将垫片移离封装，可以调整PCB的弯曲角度，使其保持在合理的范围内。图12中的图表总结了这种相关性。

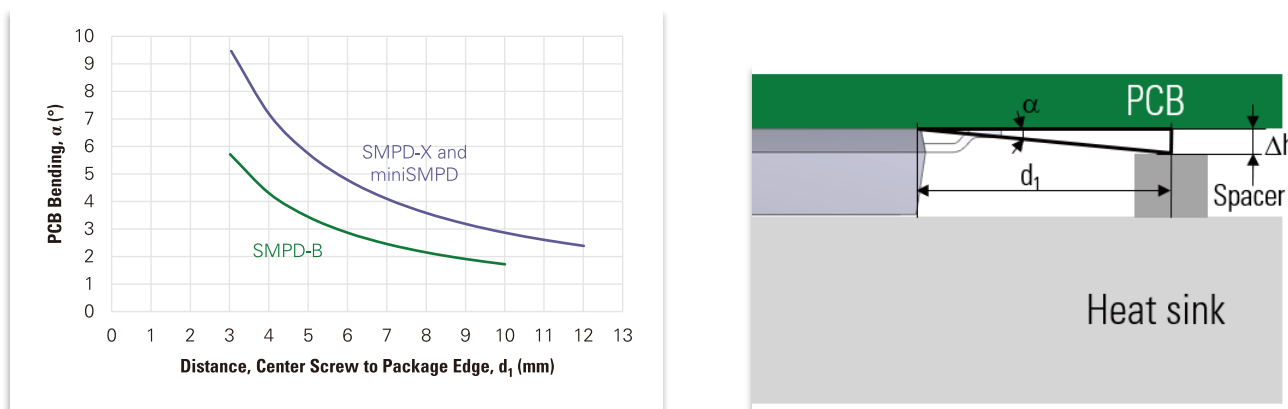


图12. 垫片距离对PCB弯曲的影响

该图基于最差假设，即 Δh 由最大厚度的封装和最小长度的垫片组合而成。为了保持较低的机械应力，两种封装配有的模块边缘和安装螺钉中心之间的最小距离为 $d_1 = 8$ mm。做为预防措施，应防止将敏感元件(如陶瓷电容器)放置在受压区域。

注：通过添加热界面材料的可压缩板或垫片来补偿公差不是最佳做法。如果其厚度足以补偿0.1毫米或更大的间隙，则元件导热性能将降低。

不可压缩的热垫需要被视为额外的高度，并增加了需要考虑的设计公差。

单个设计中可以使用多种拓扑结构的多个SMPD。变频器中的一个典型拓扑结构和相关SMPD器件如图13所示。

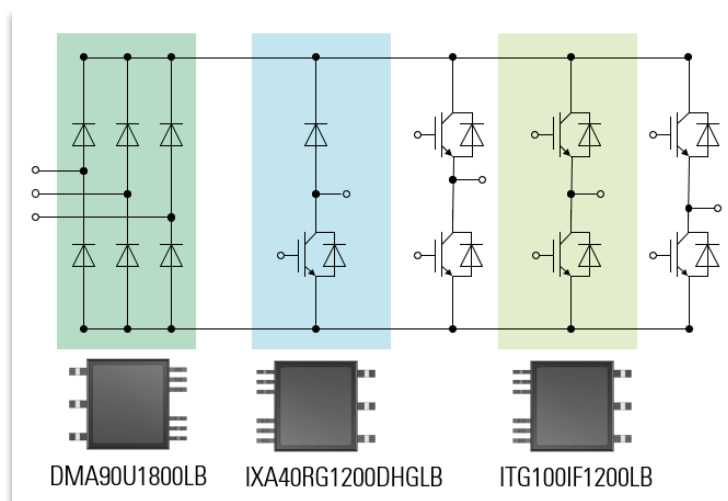


图13. 由SMPD器件组成的变频器的功率部分

安装多个器件时，必须注意模块的DCB尽可能对准同一平面。由于PCB的柔性，器件之间的微小偏差将得到补偿。

在图13中给出的示例中，组成输出级的三个功率半导体通常安装在彼此靠近的位置，而输入整流器和制动单元可以放置在便于PCB布线的位置。

排成一行的器件可以用螺钉沿其中心线固定，如图14所示。这也可以扩展到更多的模块。

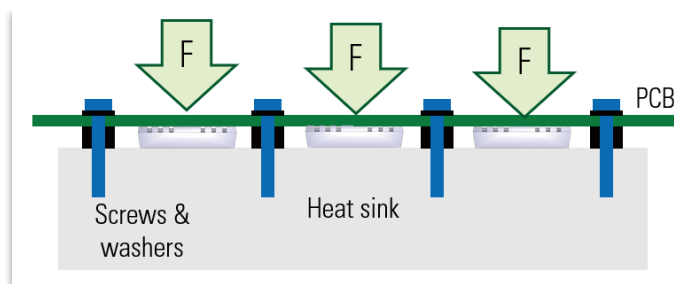


图14. 使用n+1个螺钉连续安装n个器件

当安装排成一行的多个器件时，使用支架对多个器件施加压力是另一种选择，如图15所示。

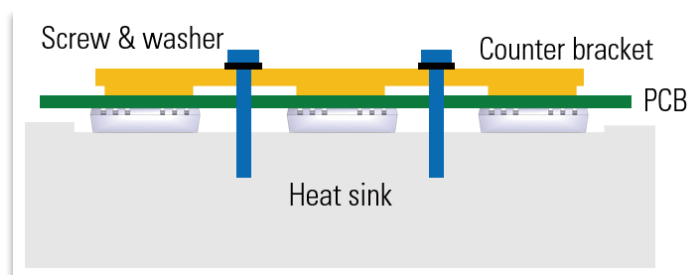


图15. 使用支架安装多个SMPD

一个精心设计的支架只对模块覆盖的区域施加力，模块之间的空间保持无压力，因此不需要加圆柱形垫片支撑，PCB不会弯曲。

支架最好由非导电材料制成，可以考虑PBT、ASA或ABS等工业热塑性塑料，并且可以通过3D打印轻松创建评估样板。用纸质塑料等固体材料研磨支架是另一种选择。在大规模生产中，定制的注塑部件仍然是一种选择。

为了保持螺钉孔小，公制螺钉M3已被证明是足够使用的。建议使用垫圈和弹簧锁垫圈，以防止长时间使用后出现松动。

一种合适的组合包括：

- 符合ISO 4672 / DIN 912标准的长度合适的公制螺钉M3，伸入散热器螺纹至少3 mm
- 符合ISO 7092/DIN 433的垫圈
- ISO 7090 / DIN 127中描述的弹簧锁垫圈。

对于螺钉，建议使用性能等级为6.8或更高的螺钉，扭矩为0.9Nm。如果首选英制螺钉，则螺钉4-32最接近3mm，建议扭矩为8lb-in。

3.3. 围绕SMPD构建的整体方法

在新建的设计中，还有一个选项可用。设计有合适弹簧元件的外壳可以将PCB保持在适当位置，同时具有施加所需压力的机械特征。

同时，外壳可充当散热器。图16总体上展示了这个想法。

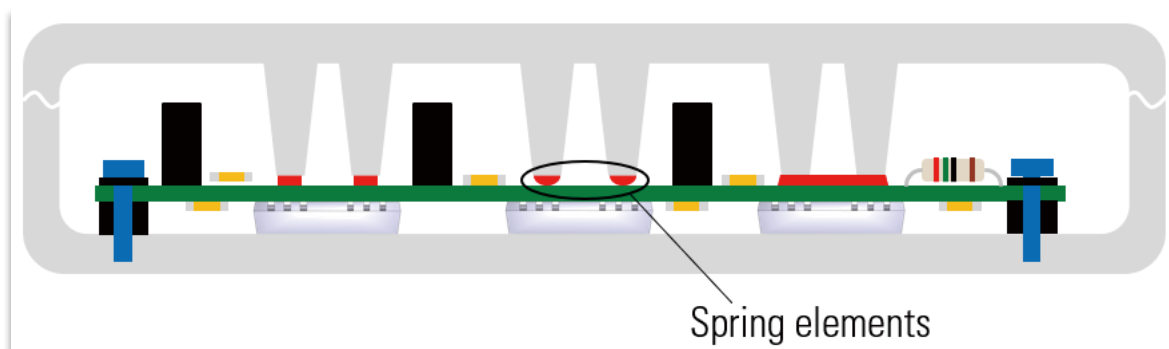


图16. 多功能封闭外壳将PCB固定到位，并在需要的地方施加压力

弹簧元件可以由螺旋金属弹簧制成，或者它们可以是较软的材料，如橡胶或合适的热塑性塑料，如TPU。

4. 热性能验证

在任何应用或设计系统中，热都是半导体的主要考虑因素。验证热界面材料的性能是否符合预期，以及半导体的结温是否保持在预期范围内，这一点非常重要。为了证实基于模拟的估计，需要在给定的设计系统内进行测量。

由于从外部无法接触到SMPD内的芯片，因此间接测量是深入了解热性能的合适方法。

该测量方法从半导体结到周围环境的总热阻 R_{thja} 有关，包括热界面材料和为设计系统选择的散热器。一旦准确知道了该值，芯片的结温 T_{vj} 就可以从以下方程式中计算出来：

$$T_{vj} = T_{amb} + P_v \cdot \sum R_{th} = T_{amb} + P_v \cdot R_{thja}$$

在这个等式中， P_v 代表芯片中的损耗， T_{amb} 代表环境温度。

4.1. 准备和校准

首先，需要确定恒定电流下芯片正向电压与温度的关系。电流需要保持恒定，以减少变量的数量，因为正向电压取决于电流和温度。

例如，考虑在SMPD-B封装中采用半桥配置的两个MOSFET的MCB20P1200LB。

为了进行校准，该器件安装在加热板上，以精确控制温度。在稳定状态下，芯片温度和加热板温度达到相同的值。加热芯片的损耗由加热板的控制来补偿，因此在稳定状态下，两个温度再次相同。稳定状态通常在几分钟内达到。

MOSFET的特点是本身集成了体二极管，由于它们在给定电流下的正向电压与温度呈线性关系，因此它们非常适合这种测试。在测量过程中安全关闭MOSFET是必要的，以防止电流流过MOSFET的沟道，因为这将降低最终结果的准确性。施加-5V的栅极源电压就足够了。图17包括用于校准的原理图和确定的热相关性。在测量中，温度以每级10°K的速度上升。

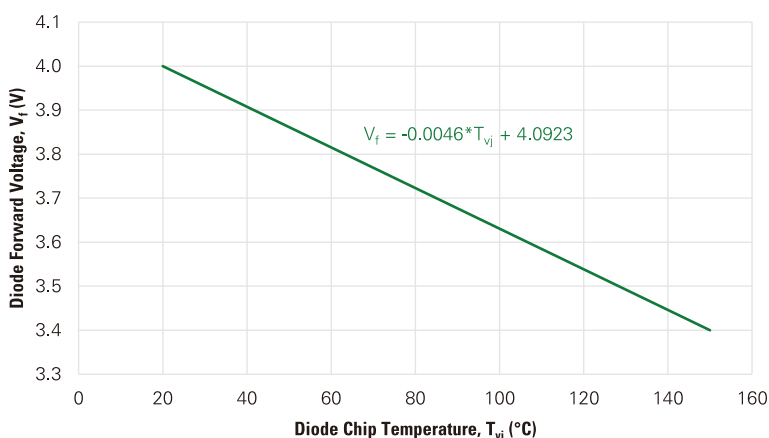
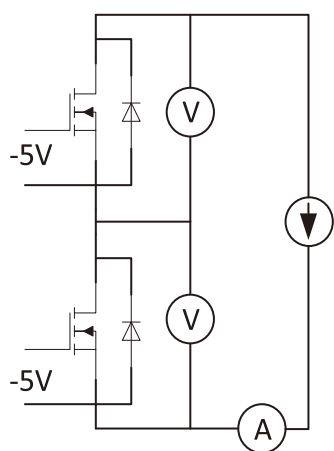


图17. 测试电路和确定的热相关性原理图

线性相关 $V_f = f(T_{vj}, I_D = 5A)$ 可以改写为 $T_{vj} = f(V_f, I_D = 5A)$ 。

4.2. 确定最终系统中的热阻

该测量只能在最终系统中进行，该系统由安装的PCB、热表面材料和散热器组成。现在在已知和测量的环境温度 T_{amb} 下重复该过程。

将用于校准的相同恒定电流注入功率半导体，观察二极管两端的电压，直到达到稳定状态。这是在二极管两端的电压保持恒定时实现的。根据散热条件，这可能需要几分钟的时间。

在稳定状态下，损耗由 $P_v = V_f \cdot I_D$ 决定，给定热阻、温度变量和损耗之间的线性相关性，由此产生的热阻 R_{thja} 可计算为：

$$P_v = \frac{\Delta T}{R_{thja}} = \frac{T_{vj} - T_{amb}}{R_{thja}} \Leftrightarrow R_{thja} = \frac{T_{vj} - T_{amb}}{P_v}$$

对MOSFETs类器件而言，因其二极管是内生的，因此测试热阻只有一个值。但对IGBT类器件，因其二极管是外加的，需要进行两次测量，分别确定IGBT和二极管的热阻。

一旦系统的最终的热阻被测定，就可以针对不同的设计条件，调整到合适的器件工作点。

5. 结论

通过SMPD封装，Littelfuse扩大了ISOPLUS™系列。这一功率半导体元件系列允许采用模块化方法来设计各种电力电子应用。

将热量分散到更大的区域可以提高热性能，同时让工程师不必顾虑器件太靠近的问题，这在CBI型功率模块中很常见。

绝缘结构以及DCB和引线框架的组合是在工业驱动器或非车载EV充电器等具有挑战性的应用中构建最紧凑设计的关键。

SMPD封装可以通过多种方式轻松安装，让工程师在设计布局时有更大的自由度。

欲了解更多信息，请访问 www.Littelfuse.com/powersemi

Disclaimer Notice - This document is provided by Littelfuse, Inc. ("Littelfuse") for informational and guideline purposes only. Littelfuse assumes no liability for errors or omissions in this document or for any of the information contained herein. Information is provided on an "as is" and "with all faults" basis for evaluation purposes only. Applications described are for illustrative purposes only and Littelfuse makes no representation that such applications will be suitable for the customer's specific use without further testing or modification. Littelfuse expressly disclaims all warranties, whether express, implied or statutory, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and non-infringement. It is the customer's sole responsibility to determine suitability for a particular system or use based on their own performance criteria, conditions, specific application, compatibility with other components, and environmental conditions. Customers must independently provide appropriate design and operating safeguards to minimize any risks associated with their applications and products.

Littelfuse products are not designed for, and shall not be used for, any purpose (including, without limitation, automotive, military, aerospace, medical, life-saving, life-sustaining or nuclear facility applications, devices intended for surgical implant into the body, or any other application in which the failure or lack of desired operation of the product may result in personal injury, death, or property damage) other than those expressly forth in applicable Littelfuse product documentation. Littelfuse shall not be liable for any claims or damages arising out of products used in applications not expressly intended by Littelfuse as set forth in applicable Littelfuse documentation.

Read complete Disclaimer Notice at www.littelfuse.com/disclaimer-electronics