

合理的PCB布局技术使电源模块性能最优化

了解电路板布局如何影响实际的电源子系统结果

Don Rhodes和Marc Davis-Marsh，美国国家半导体公司

简单易用的新一代电源模块为复杂的电源设计、以及通常与DC-DC转换器有关的印刷电路板(PCB)布局提供了一种替代方案。尽管如此，在设计和布局这些将电感器和单片同步稳压器集成在一个电源组中的电源模块时仍有不少设计工作要做。本文介绍了最佳的PCB布局方法、实践和技术，以最大限度地优化 SIMPLE SWITCHER® 电源模块的性能。

当设计电源-转换器布局时，首先要考虑的是两个开关电流回路的物理环路面积。虽然它们主要隐藏在电源模块中，但了解这两个回路中的每个电流路径是非常重要的，因为这些电流回路不仅仅局限在模块中。在图1所示的回路1中，电流从输入储能电容(C_{in1})流出，然后在其导通时间期间流经内部高边金属氧化物半导体场效应管(MOSFET)，紧接着流经内部电感器和输出旁路电容(C_{O1})，最终流回输入旁路电容。

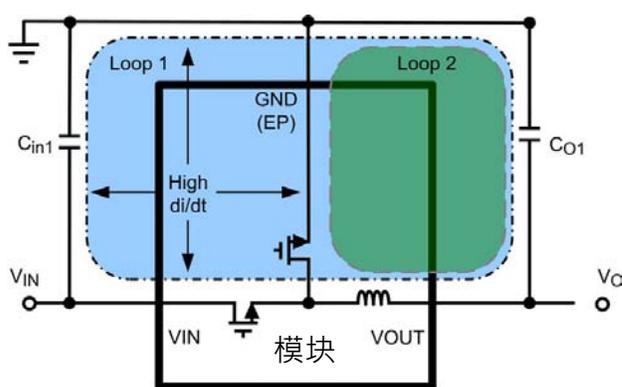


图1

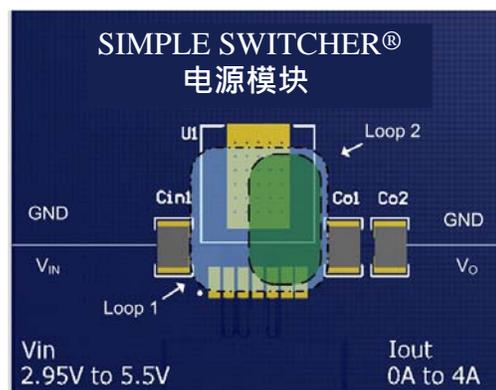


图2

回路2是在内部高边 MOSFET 的关断时间期内和低边 MOSFET 的导通时间期内形成的。如图所示内部电感器中储存的能量流经输出旁路电容和返回至接地的低边 MOSFET。两个回路中不重叠的区域，包括两个环之间的边界是高 di/dt 电流区域。输入旁路电容 (C_{in1}) 在提供变换器高频电流和将电流送回其电源的过程中起着非常关键的作用。

输出旁路电容 (C_{O1}) 不提供大的交流电流，但用作高频开关噪声滤波器。基于这些原因，输入和输出电容应尽可能近地置放在模块上各自的 V_{IN} 和 V_{OUT} 引脚上。如图2所示，旁路电容和各自 V_{IN} 和 V_{OUT} 引脚之间的径迹要尽可能短而宽，从而最大限度地减少这些连接的电感。

最小化电感的布局有两个主要好处。第一个好处是分别通过提高能量在 C_{in1} 和 C_{O1} 上的来回传送来改善部件的性能。这将确保该模块具有良好的高频旁路，以最小化高 di/dt 电流引起的感应电压峰值。这最大限度地减低了噪声和对设备的电压应力，从而确保了正常工作。第二个好处是最大限度地降低了电磁干扰 (EMI)。

低寄生电感引脚的电容对更高的频率表现出低阻抗，从而减低传导发射。推荐使用陶瓷 (X7R 或 X5R) 或其他低 ESR 型电容。如果其他电容置放在靠近接地和 VIN 处，唯一有效的办法就是添加更多的输入电容。由于其设计，SIMPLE SWITCHER 电源模块本身具有较低的辐射和传导 EMI。不过，按照本文中讨论的布局指引，就可以极大地优化电源模块的性能。

返回电流的路由常常被忽略，然而它们在任何电源设计优化中都发挥着重要作用。同样， C_{in1} 和 C_{O1} 的接地径迹应尽可能短而宽，并使用外露焊盘直接连接。这点非常重要，因为输入电容 (C_{in1}) 的地端流过很大的交流电流。

模块(包括外露焊盘)、输入和输出电容、软启动电容和反馈电阻的接地引脚均应与 PCB 上的回流平面相连。该回流平面用作一个非常低的电感电流返回路径和散热器，这点将在下一节讨论。

反馈电阻的布置也应尽可能接近模块的反馈 (FB) 引脚。使 FB 引脚和反馈电阻的中心抽头之间的径迹尽可能短，这对于在该高阻抗节点最小化电势噪声的捕获非常重要。选用时，补偿部件或前馈电容的布置应尽可能地靠近上部反馈电阻。请参见例子中的相应模块数据表中的 PCB 布局图。(LMZ14203 布局的例子请参见 www.national.com 网站上的 AN-2024。)

散热设计建议

模块的紧凑布局所获得的电气方面的益处与散热设计的要求无法兼顾，因为相同的功率需要从较小的空间消散。考虑到这一点，SIMPLE SWITCHER 电源模块在电连接至接地的封装件背面设计有一个单独的裸露大焊盘。该焊盘从内部 MOSFETs(绝大部分热量在此产生)到 PCB 均具有极低的热阻。

从半导体结到这些设备的外壳的热阻 θ_{JC} 为 $1.9^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。一个在业界很棒的 θ_{JC} ，但是如果从外壳到环境空气的热阻 (θ_{CA}) 过大，那么低 θ_{JC} 也没有什么意义。当环境空气未提供低阻抗散热路径时，热量将积聚在裸露焊盘处。

θ_{CA} 由什么决定呢？从裸露焊盘到环境空气的热阻完全由 PCB 以及任何相关的散热器的设计所决定。

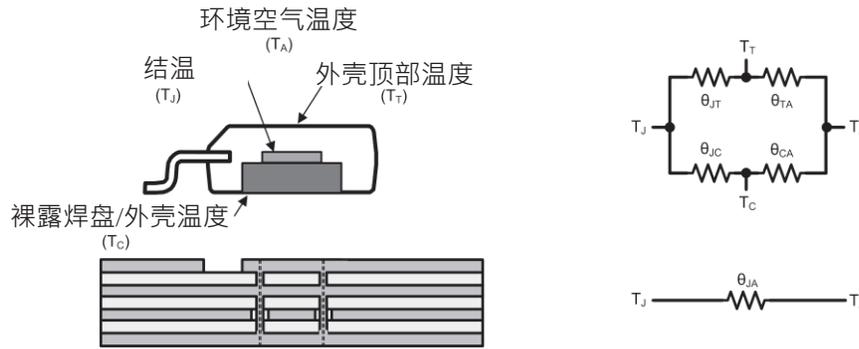


图 3

让我们快速了解下如何用 PCB 完成一个不使用散热器的简易散热设计。图 3 图示说明的是作为热阻的模块和 PCB。由于结点和外壳顶部之间相对较高的热阻，与结点到裸露黏晶焊盘的热阻相比，在首次预估结点到环境空气的热阻 θ_{JA} 时， θ_{JT} 散热路径可忽略。

散热设计的第一步是确定需要消耗的功率是多少。通过模块 (P_D) 消耗的功率可从数据表中所列出的效率图 (η) 轻易地计算得到。

$$P_D = V_{OUT} \times I_{OUT} \times \left(\frac{1}{\eta} - 1\right)$$

之后，使用我们设计的温度限值、最大环境温度 $T_{环境}$ 和额定结温 $T_{结}$ (125°C) 来确定安装在 PCB 上的模块的所需热阻。

$$\theta_{JA} = \frac{T_{结} - T_{环境}}{\text{功耗}}$$

最后，我们可使用已大大简化的 PCB 表面(在顶层和底层上带有完整的一盎司散热铜和无穷多个散热孔)对流换热近似值来确定确定散热所需的电路板面积：

$$\text{电路板面积(cm}^2\text{)} \geq \frac{500 \frac{\text{°C} \times \text{cm}^2}{\text{W}}}{\theta_{JA} - \theta_{JC}}$$

$$\text{电路板面积(in}^2\text{)} \geq \frac{77.5 \frac{\text{°C} \times \text{in}^2}{\text{W}}}{\theta_{JA} - \theta_{JC}}$$

这个所需 PCB 电路板面积的近似值未考虑散热孔的影响，这些散热孔常用来将热量从顶层金属(封装件在此处与PCB相连)传递到底层金属。底层常用作第二表面，对流可在此处将热量从电路板上带走。要有效估算电路板面积的近似值至少要使用 8-10 个散热孔。通过以下方程近似得出散热孔的热阻：

$$\theta_{\text{散热孔}} \approx \frac{261 \frac{\text{°C}}{\text{W}}}{\text{散热孔的个数}}$$

该近似值适用于带 0.5 盎司铜侧壁的典型 12 密耳直径通孔。使用的多个散热孔应安装在裸露焊盘的下方，并采用 1 毫米至 1.5 毫米间距来形成一个阵列。(请参见 www.national.com 网站上的应用说明 AN-2020 和 AN-2026 以了解更多信息。)

结论

SIMPLE SWITCHER 电源模块为复杂的电源设计、以及通常与 DC-DC 转换器有关的印刷电路板 (PCB) 布局提供了另一种选择。虽然已解决了布局上的难题，但仍需要工程师完成一些设计，以便通过合理的旁路和散热设计，最大限度地优化模块的性能。

作者简介

Don Rhodes 是美国国家半导体公司的一名现场应用工程师，长年在俄勒冈州Tigard市工作。他在Chapman University获得了软件工程学士(BSE)学位。

Marc Davis-Marsh 是加利福尼亚州圣克拉拉市美国国家半导体公司的一名应用工程师。他拥有俄亥俄州代顿市Wright State University的电子工程硕士学位和电子工程学士学位。