

## 优化电源模块性能的PCB布局技术

- 全球出现的能源短缺问题使各国政府都开始大力推行节能新政。电子产品的能耗标准越来越严格，对于电源设计工程师，如何设计更高效、更高性能的电源是一个永恒的挑战。本文从电源PCB的布局出发，介绍了优化SIMPLE SWITCHER电源模块性能的最佳PCB布局方法、实例及技术。

在规划电源布局时，首先要考虑的是两个开关电流环路的物理环路区域。虽然在电源模块中这些环路区域基本看不见，但是了解这两个环路各自的电流路径仍很重要，因为它们会延至模块以外。在图 1 所示的环路 1 中，电流自导通的输入旁路电容器（ $C_{in1}$ ），在高端 MOSFET 的持续导通时间内经该 MOSFET，到达内部电感器和输出旁路电容器（ $C_{O1}$ ），最后返回输入旁路电容器。

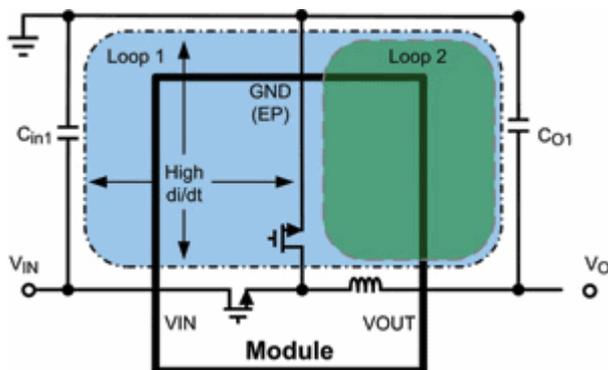


图 1 电源模块中环路示意图

环路 2 是在内部高端 MOSFET 的关断时间以及低端 MOSFET 的导通时间内形成的。内部电感器中存储的能量流经输出旁路电容器和低端 MOSFET，最后返回 GND（如图 1 所示）。两个环路互不重叠的区域（包括环路间的边界），即为高  $di/dt$  电流区域。在向转换器提供高频电流以及使高频电流返回其源路径的过程中，输入旁路电容器（ $C_{in1}$ ）起着关键作用。

输出旁路电容器（ $C_{o1}$ ）虽然不会带来较大交流电流，但却会充当开关噪声的高频滤波器。鉴于上述原因，在模块上输入和输出电容器应该尽量靠近各自的 VIN 和 VOUT 引脚放置。如图 2 所示，若使旁路电容器与其各自的 VIN 和 VOUT 引脚之间的走线尽量缩短并拓宽，即可将这些连接产生的电感降至最低。

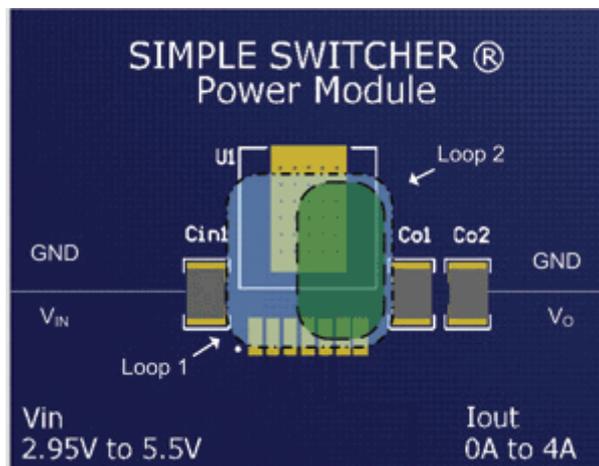


图 2 SIMPLE SWITCHER 环路

将PCB布局中的电感降至最低，有以下两大好处。第一，通过促进能量在Cin1 与CO1 之间的传输来提高元件性能。这将确保模块具有良好的高频旁路，将高di/dt电流产生的电感式电压峰值降至最低。同时还能将器件噪声和电压应力降至最低，确保其正常操作。第二，最大化降低EMI。

- 连接更少寄生电感的电容器，就会表现出对高频率的低阻抗特性，从而减少传导辐射。建议使用陶瓷电容器（X7R 或 X5R）或其他低 ESR 型电容器。只有将额外的电容放在靠近 GND 和 VIN 端时，添加的更多的输入电容才能发挥作用。SIMPLE SWITCHER 电源模块经过独特设计，本身即具有低辐射和传导 EMI，而遵循本文介绍的 PCB 布局指导方针，将获得更高性能。

回路电流的路径规划常被忽视，但它对于优化电源设计却起着关键作用。此外，应该尽量缩短且扩宽与 Cin1 和 CO1 之间的接地走线，并直接连接裸焊盘，这对于具有较大交流电流的输入电容（Cin1）接地连接尤为重要。

模块中接地的引脚（包括裸焊盘）、输入和输出电容器、软启动电容以及反馈电阻，都应连至 PCB 上的回路层。此回路层可作为电感电流极低的返回路径以及下文将谈及的散热装置使用。

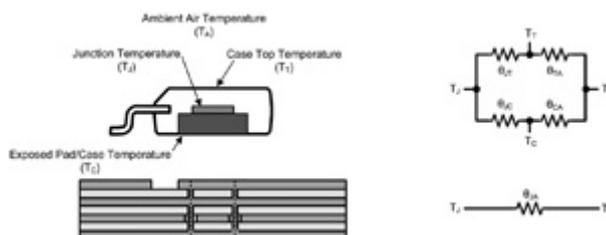


图 3 模块及作为热阻抗的 PCB 示意图

反馈电阻也应放置在尽可能靠近模块 FB（反馈）引脚的位置上。要将此高阻抗节点上的潜在噪声提取值降至最低，令 FB 引脚与反馈电阻中间抽头之间的走线尽可能短是至关重要的。可用的补偿组件或前馈电容器应该放置在尽可能靠近上层反馈电阻的位置上。

### 散热设计建议

模块的紧凑布局在电气方面带来好处的同时，对散热设计造成了负面影响，等值的功率要从更小的空间耗散掉。考虑到这一问题，SIMPLE SWITCHER电源模块封装的背面设计了一个单独的大的裸焊盘，并以电气方式接地。该焊盘有助于从内部MOSFET（通常产生大部分热量）到PCB间提供极低的热阻抗。

从半导体结到这些器件外封装的热阻抗（ $\theta_{JC}$ ）为  $1.9^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 。虽然达到行业领先的 $\theta_{JC}$ 值就很理想，但当外封装到空气的热阻抗（ $\theta_{CA}$ ）太大时，低 $\theta_{JC}$ 值也毫无意义！如果没有提供与周围空气相通的低阻抗散热路径，则热量就会聚集在裸焊盘上无法消散。那么，究竟是什么决定了 $\theta_{CA}$ 值呢？从裸焊盘到空气的热阻完全受PCB设计以及相关的散热片的控制。

现在来快速了解一下如何进行不含散热片的简单 PCB 散热设计，图 3 示意了模块及作为热阻抗的 PCB。与从结到裸片焊盘的热阻抗相比，由于结与外封装顶部间的热阻抗相对较高，因此在第一次估计从结到周围空气的热阻（ $\theta_{JT}$ ）时，我们可以忽略  $\theta_{JA}$  散热路径。

- 散热设计的第一步是确定要耗散的功率。利用数据表中公布的效率图（ $\eta$ ）即可轻松计算出模块消耗的功率（PD）。

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

然后，我们使用设计中的最高温度  $T_{Ambient}$  和额定结温  $T_{Junction}$ （ $125^{\circ}\text{C}$ ）这两个温度约束来确定 PCB 上封装的模块所需的热阻。

$$\theta_{JA} = \frac{T_{JUNCTION} - T_{AMBIENT}}{\text{Power Dissipation}}$$

最后，我们使用 PCB 表面（顶层和底层上均具有未损坏的一盎司铜散热片和无数个散热孔）的对流热传递的最大简化的近似值来确定散热所需的板面积。

$$\text{Board Area (cm}^2\text{)} \geq \frac{500 \frac{\text{°C} \times \text{cm}^2}{\text{W}}}{\theta_{\text{JA}} - \theta_{\text{JC}}}$$

$$\text{Board Area (in}^2\text{)} \geq \frac{77.5 \frac{\text{°C} \times \text{in}^2}{\text{W}}}{\theta_{\text{JA}} - \theta_{\text{JC}}}$$

所需的 PCB 板面积近似值未考虑到散热孔所发挥的作用，这些散热孔将热量从顶部金属层（封装连接至 PCB）向底部金属层传递。底层用作第二表面层，对流可以从这里将板上的热量传送出去。为了使板面积近似值有效，需使用至少 8~10 个散热孔。散热孔的热阻近似于下列方程式值。

$$\theta_{\text{VIAS}} \approx \frac{261 \frac{\text{°C}}{\text{W}}}{\# \text{ of Thermal Vias}}$$

此近似值适用于直径为 12 密尔、铜侧壁为 0.5 盎司的典型直通孔。在裸焊盘下方的整个区域内要尽可能多地设计一些散热孔，并使这些散热孔以 1~1.5mm 的间距形成阵列。

## 结论

SIMPLE SWITCHER 电源模块为应对复杂的电源设计，以及与直流/直流转换器相关的典型的 PCB 布局提供了替代方案。虽然布局难题已被消除，但仍需完成一些工程设计工作，以便利用良好的旁路和散热设计来优化模块性能。