

开关电源PCB布局布线

TI大学计划

钟舒阳

shuyang-zhong@ti.com

Agenda

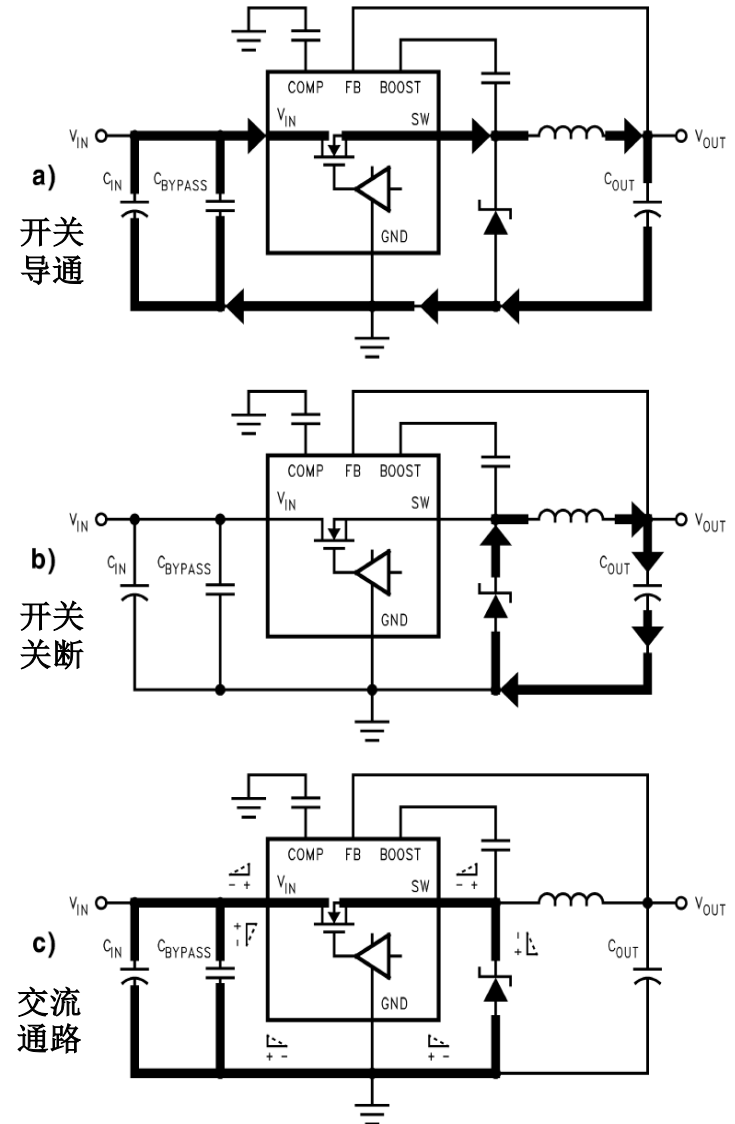
1. 交流通路 with 直流通路
2. ACAP(as close as possible)原则
3. 走线
4. 学会适当铺铜
 - 4.1 Current Nandling Capability
 - 4.2 Trace Inductance
 - 4.3 Thermal Management
5. 地平面
6. 反馈信号走线

交流通路和直流通路

- 交流通路：有**突然变化**的电流（“从无到有”或“从有到无”）
- 交流通路产生大量高次谐波，在**PCB**布局布线中需重点关注
- 每英寸**PCB**走线电感量约**20nH**，开关期间电流变化幅值能达到负载电流的**1**倍以上，而开关时间只有几十个**ns**

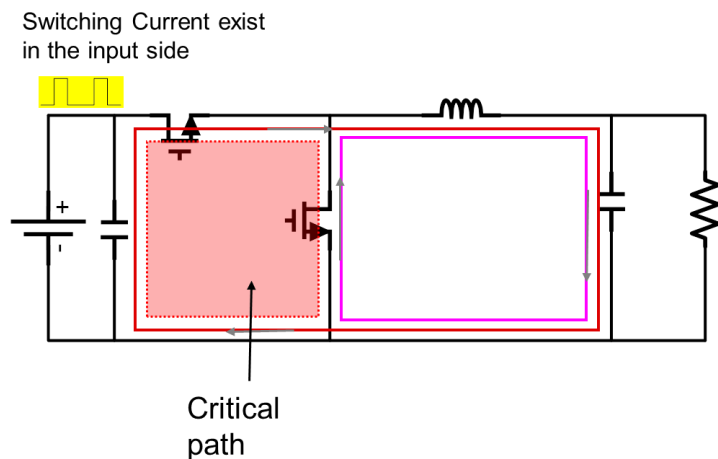
$$V = L \cdot \frac{di}{dt}$$

- 例：3英寸走线**L=60nH**，**di=2A**，**dt=30ns**，可得**V=4V**！
- 严重的电压过冲可能引起芯片意外关闭，或开关管无法正常开关
- **GND**接地点也属于交流通路，因此接地走线要短，**C_{BYPASS}**要尽量靠近**IC**

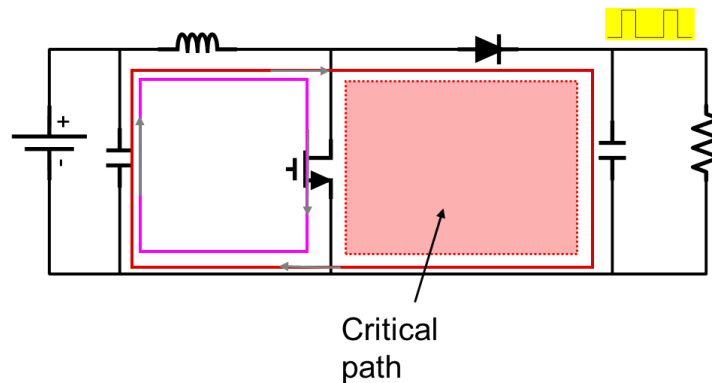


ACAP(as close as possible)原则

- 交流通路上的元器件应尽量相互靠近，例如Buck的输入回路和Boost的输出回路
- Buck电路中输入电流会发生突变，因此输入电容需尽量靠近交流回路中的其他器件
- 转换器芯片供电来自 V_{in} ，因此加入旁路电容(或称去耦电容) C_{BYPASS} 以减小输入噪声对芯片控制电路的干扰



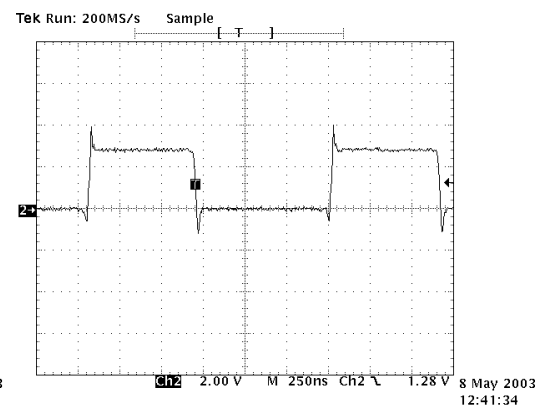
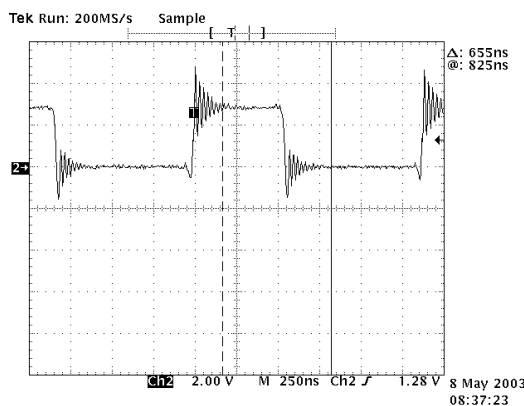
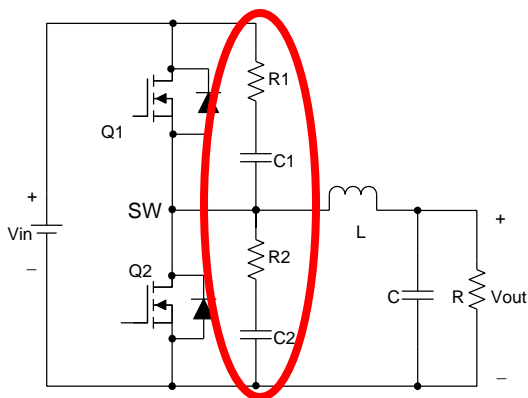
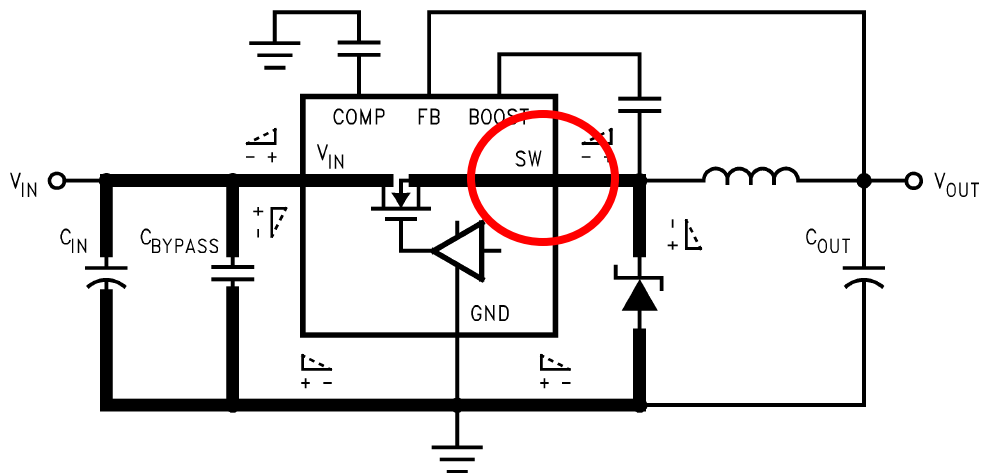
Buck



Boost

ACAP(as close as possible)原则

- 续流二极管也需要ACAP
- 开关节点(SW)易产生噪声，因此续流二极管需尽量靠近芯片的SW和GND引脚，走线要短，并有一定宽度
- 在续流二极管旁可以添加吸收电路(缓冲电路)，吸收电路同样需要靠近IC



走线

- **Wide and Short**

- $L = 2l \times \left(\ln \frac{2l}{w} - 0.5 + 0.2235 \frac{w}{l} \right) nH$ 其中 l =走线长度, w =走线宽度
- 由上式计算可得每英寸走线电感量约20nH
- 电感量 L 和走线长度 l 呈线性关系
- 电感量 L 和走线宽度 w 非线性关系, w 增大10倍, L 约减小一半
- 结论: 为减小走线电感, 首先应考虑缩短走线长度, 盲目加宽走线效果不明显, 且可能增加EMI

- 尽量避免过孔

- 过孔的电感量是同样直径走线的2倍
- 如果不得不采用过孔, 可使用多个并排

- 控制走线宽度以减小EMI

- 过宽的走线或铺铜容易产生EMI
- 地平面铺铜应保持连续
- 交流回路的面积越小越好

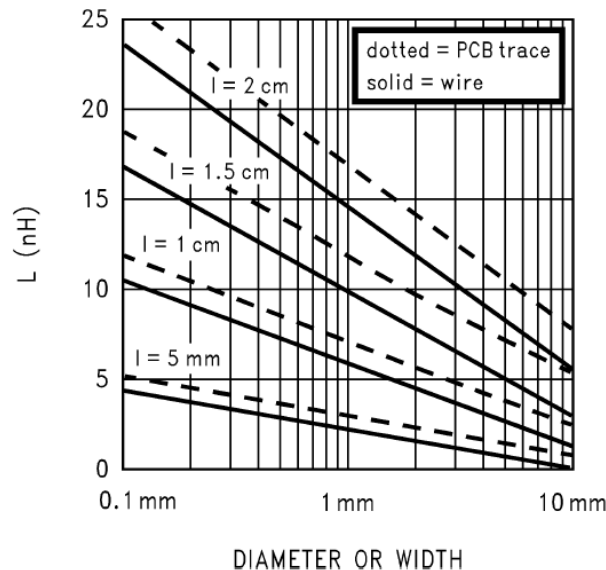
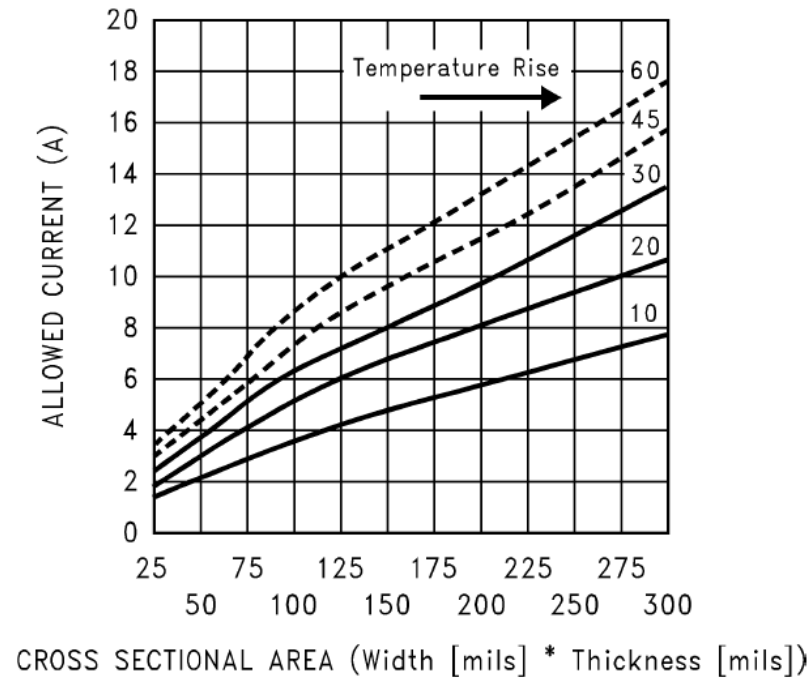


Figure 3. Inductance of Wire of Length 'l'



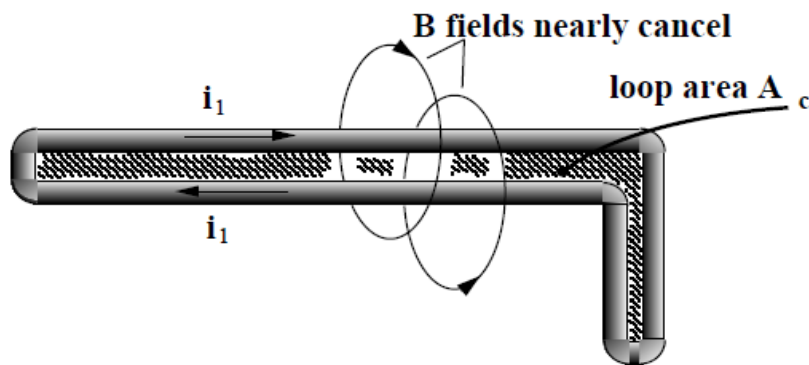
学会适当铺铜 – 通流能力

- PCB走线的横截面面积=宽度x厚度，横截面面积越大，电阻越小，可以流过的电流越大（通流能力越强）。
- 如果通流能力不够，会造成温度升高。
- 常见PCB走线厚度为1oz或2oz，1oz=1.4mils厚度(35 μ m)
- 例：如果电流4A，允许温升20 $^{\circ}$ C，那么需要的横截面积=75mils²。如果采用1oz走线，需要宽度=75/1.4=54mils(1.4mm)
- 以上计算只考虑了走线自身产生的热量，未考虑周围元器件温度。实际板上温度可能远大于上图中的温度。
- 通常计算线宽遵照以下准则：若温升<30 $^{\circ}$ C，电流<5A：
 - 使用1oz厚度时，每安培电流线宽至少为12mils
 - 使用2oz厚度时，每安培电流线宽至少为7mils



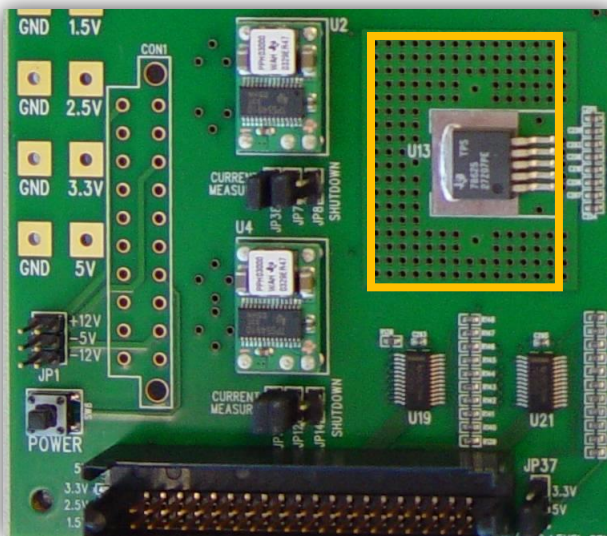
学会适当铺铜 – 走线电感

- 前文提到过，要减小走线电感，应首先考虑缩短走线长度，而非增加走线宽度。因为走线宽度超过一定阈值以后，对电感的影响变得不明显。
- 如果走线长度无法缩短，可以使用平行走线来抵消电感。
- 如果采用双面板，可以将一对走线分别置于正面和反面，并保持平行。
- 采用地平面可以帮助消除电感。



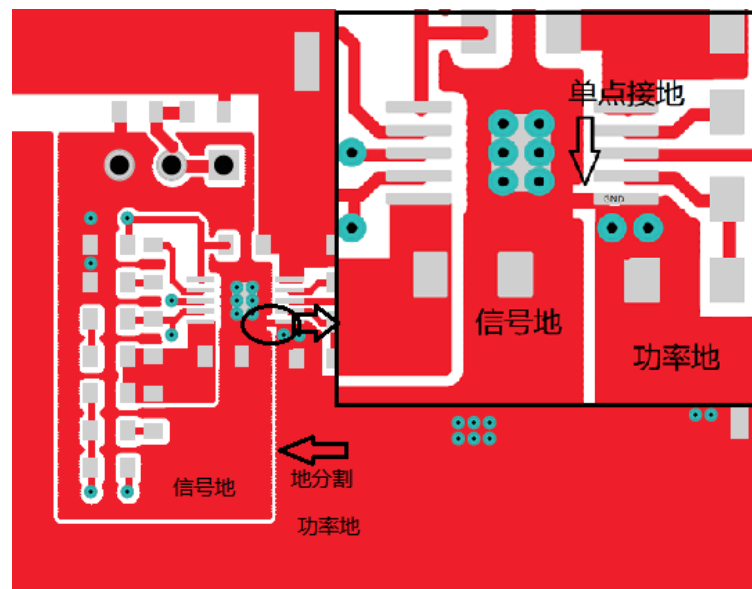
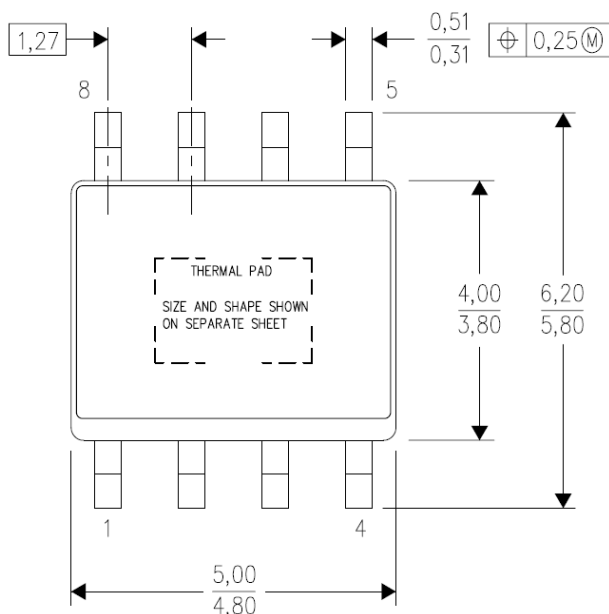
学会适当铺铜 – 热量控制

- 理想状况下铺铜面积的增大有助于散热，但超过一定阈值后，由于厚度限制，铺铜面积对散热的影响程度变小。
- 在1oz厚度时，铺铜面积的阈值约为1平方英寸；2oz厚度时，约为3平方英寸。如果铺铜面积再大，需考虑增加散热装置。
- 当单面铺铜无法满足散热要求时，可以在另一面增加铺铜。但双面铺铜的散热效果之比单面增加10%-20%，因为PCB板导热性不如铜。解决方法是在两面之间打上密集的散热过孔，可以使散热效果增加50%-70%。



Thermal Pad

- 有些电源芯片背后有Thermal Pad用于散热。
- Thermal Pad与芯片内部GND相连。
- 如果使用Thermal Pad，推荐使用一些小过孔连接PCB正面和反面的地平面对。
- 推荐过孔直径0.3mm-0.33mm，推荐间距1mm-1.2mm。



铺铜面积计算实例

- 续流二极管的热量通过流过的平均电流计算，而非输出电流。二极管的平均电流= $I_{out} \times (1-D)$ 。
- 例：续流二极管正向导通压降0.5V，输出电流5A，占空比0.4。

$$\text{续流二极管的损耗} = 5 \times 0.5 \times (1 - 0.4) = 1.5W$$

若最高环境温度为55°C，板上最大允许温度为100°C，则允许温升=45°C。

$$\text{由损耗和温升可计算出所需热阻} = 45 / 1.5 = 30^\circ\text{C/W}$$

PCB铺铜的面积由下式计算：

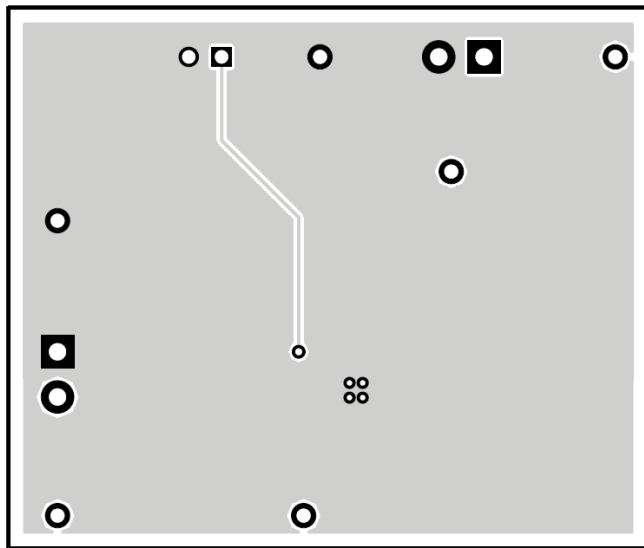
$$A = 985 \times R_{th}^{-1.43} \times P^{-0.28} \text{平方英寸}$$

其中A是铺铜面积，Rth是热阻，P是损耗。带入上面计算得到的数值，可得A=6.79平方英寸

如果铺铜面积超过1平方英寸，则应使用2oz厚度的PCB。

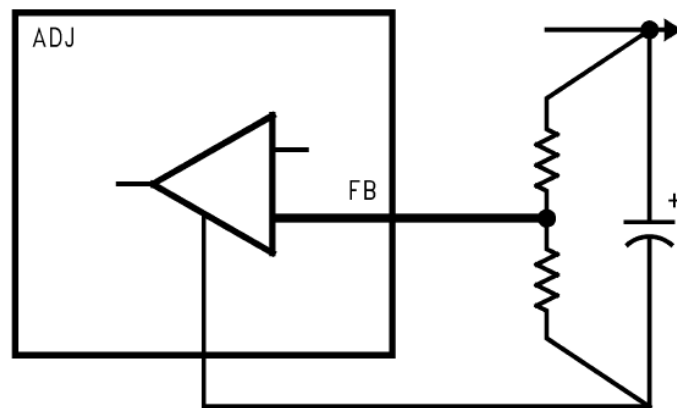
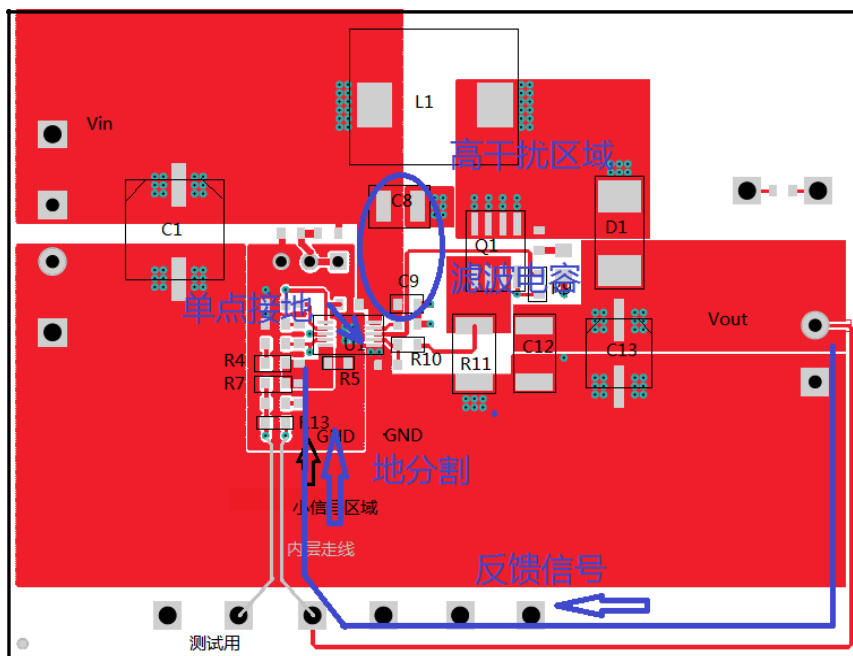
地平面

- 双面板设计中常见方式是将其中一面填满铺铜作为地平面。
- 地平面的优点：
 - 减小电流回路上的电感
 - 增强散热能力
 - 改善噪声/EMI
- 功率元件的接地端可以通过过孔与地平面相连。有利于减小元件之间接地电平的错误。
- 然而，地平面不能代替元件正确布局的作用。

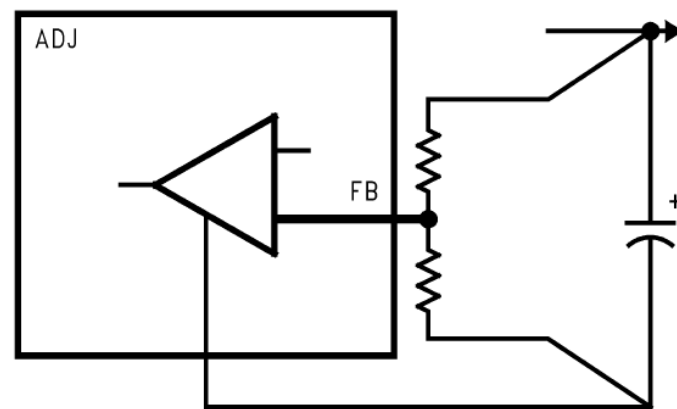


反馈信号走线

- 反馈信号的长走线应远离高阻抗端（误差放大器输入端）。
- 反馈信号走线尽量远离功率器件，如电感、二极管等。
- 避免反馈信号走线与功率走线平行。



×



✓

开关电源PCB设计要素

1. 续流二极管和输入电容尽量互相靠近。
2. 对于高速器件（如LM267x），不要忽略在输入端放置去耦/旁路电容（0.1uF-0.47uF）。
3. 如有可能用过孔连接地平面。
4. 贴片功率元件的下面的过孔是散热过孔，使用正确大小的过孔以避免制板时遇到问题。或者把散热过孔放在芯片附近，而不是下方。
5. 正确设计反馈回路的走线，远离噪声源，例如电感和二极管。
6. 不要盲目增加开关节点走线的宽度。
7. 对于大功率贴片元件，使用2oz PCB板以改善散热。

参考资料: [AN-1229 SIMPLE SWITCHER PCB Layout Guidelines](#)