

低辐射的4开关降压-升压型 控制器布局—单热回路与 双热回路

Yonghwan Cho, 应用工程师
Keith Szolusha, 应用总监

汽车应用电路必须满足严格的EMI标准, 以避免干扰广播和移动服务频段。在很多情况下, Silent Switcher®和Silent Switcher 2解决方案在满足这些标准方面可以发挥重要作用。但是, 在任何情况下, 都必须精心布局。本文专门讨论4开关降压-升压型控制器的两种可能解决方案, 并比较EMI室的测量结果。

4开关降压-升压转换器将降压和升压控制器结合在单个IC中, 当输出低于输入时, 转换器用作降压器; 当输出高于输入时, 转换器用作升压器。在输出和输入接近的区域中, 所有四个开关都可以工作。

功率产品研究团队利用ADI公司位于加州圣克拉拉的内部EMI室, 对原始双热回路同步布局的有效性进行了研究, 看看能否使用替代布局来降低EMI噪声以通过EMI标准。

双热回路布局要求将热回路陶瓷电容对称放置在功率MOSFET周围, 以遏制EMI噪声。ADI公司独特的检测电阻位置——在电感旁边且在热回路外部——使得这些回路可以非常小, 从而最大限度地降低热回路的天线效应。为了实现这种对称性并使开关节点能够到达附近的电感, 需要开关节点过孔, 而这可能会影响热回路区域。研究团队利用符合CISPR 25标准的EMI室发现, 裸露的开关节点和较大热回路面积会产生干扰性传导EMI, 尤其是在 >30 MHz (FM无线电频带) 时, 这是最难衰减的频率范围。

对于具有单个热回路的原始降压-升压布局, 通过重新布置功率MOSFET和热回路电容可以改善其最小热回路。这种布局称为单热

回路, 与之相对应的是双热回路。使用单个热回路的好处是不仅开关损耗较小, 而且能够衰减 >30 MHz 的传导发射(CE), 因为热回路面积和开关节点的裸露部分已最小化。其有效性已通过如下方式得到验证: 使用相同的控制器IC和相同的功率器件, 比较新布局与双热回路布局的EMI噪声。实验使用了一个4个开关降压-升压控制器LT8392及其两种版本的演示电路 (DC2626A rev.2和rev.3)。

布局比较

图1显示了双热回路和单热回路的布局与装配板照片。每个板都有四层: 顶层 (第1层)、第2层、第3层和底层 (第4层)。但是, 图中仅显示了顶层和底层。如图1(a)所示, 热回路电容位于中心MOSFET的左侧和右侧, 形成相同的热回路。开关节点过孔用于通过底层 (如图1(c)所示) 和第3层将开关节点SW1和SW2连接到主电源电感。SW1和SW2顶层铜节点采用大面积布局, 以耗散电感和MOSFET的热量。但同时, 大部分裸露的SW1和SW2铜节点成为EMI辐射源。如果电路板安装在底盘接地附近, 则底盘和开关节点铜之间会形成寄生电容。它使高频噪声从开关节点流到底盘接地, 影响系统中的其他电路。在符合CISPR 25标准的EMI室中, 高频噪声流过EMI设置和LISN的接地台。裸露的交换节点还会充当天线, 引起辐射EMI噪声。

然而, 单热回路在底层没有裸露的开关节点铜, 如图1(d)所示。在图1(b)所示的顶层, 热回路电容仅放置在MOSFET的一侧, 这使得开关节点可以连接到电感而无需使用开关节点过孔。

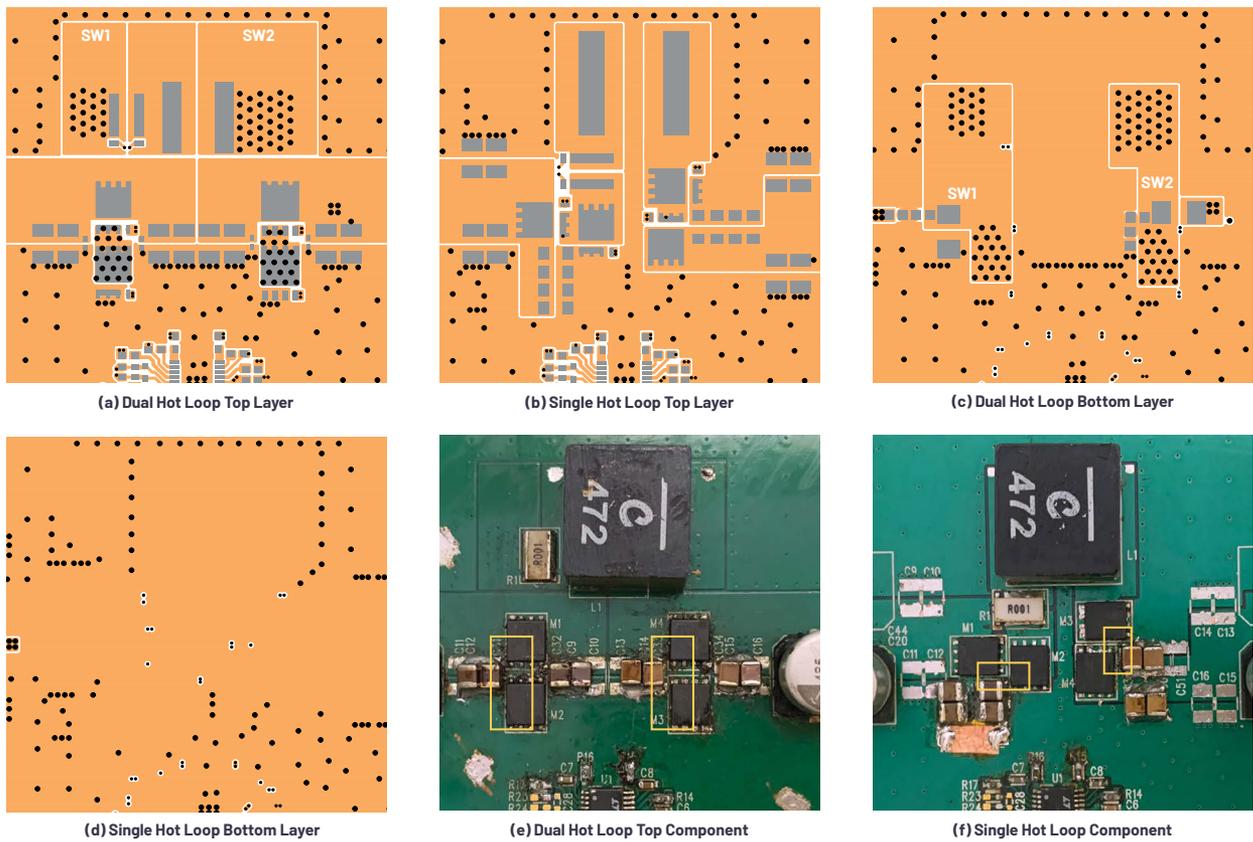


图1. 双热回路和单热回路的布局与照片

在单热回路布局中，顶部和底部MOSFET不对齐，但其中一个旋转90°以使热回路尽可能小。图1(e)和图1(f)中的黄色高亮框比较了双热回路与单热回路的热回路大小。这些框表明，单热回路的热回路为双热回路的一半。

应当注意，图1(a)所示的双热回路的两个0402热回路电容未被使用，并且1210热回路电容被挤压到MOSFET以使热回路最小。

剥离0402电容焊盘附近的阻焊层，以使1210电容连接良好。另外，电感焊盘附近的阻焊层被移除，以在单热回路电路中使用该同一电感。热回路越小，意味着回路的总电感越小。因此，开关损耗得以减少，开关节点和开关电流的LC振铃也得以衰减。另外，较小的回路有助于降低30 MHz以上的传导EMI，因为电磁辐射骚扰会影响该范围内的传导EMI。

ADI公司的专有峰值降压/峰值升压电流模式控制方案使得4开关降压-升压控制器可以形成最小的热回路。电流检测电阻与主电感串联。相比之下，竞争对手的控制器使用谷值降压/峰值升压电流模式控制方案，其中电流检测电阻应放在底部MOSFET的源极和地之间。图2显示了此类器件之一的推荐降压-升压布局。如黄框所示，热回路大于双热回路或单热回路。此外，检测电阻的寄生电感增加了热回路的总电感。

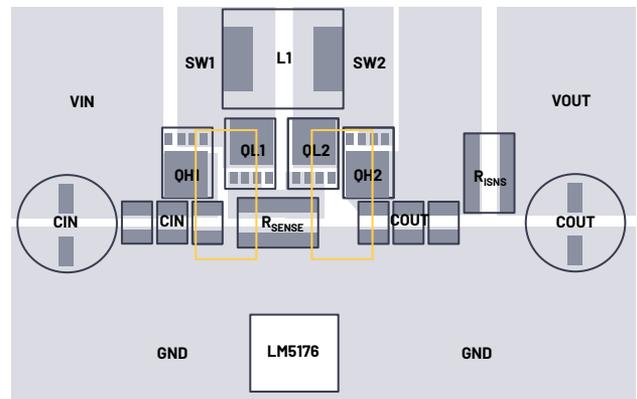


图2. 竞争器件LM5176的推荐降压-升压布局

EMI比较

双热回路和单热回路的EMI是在符合CISPR 25标准的EMI室中测量，结果显示于图3中。图3还给出了CISPR 25 Class 5标准限值。EMI结果绘制在同一图中以比较差异，双热回路用黄线标示，单热回路用红线标示。灰线是在环境条件下测得的本底噪声。如图4所示，双热回路的底层的裸露开关节点用铜带屏蔽接地，以显示该较小热回路的效果如何。没有铜屏蔽的双热回路的辐射远高于图3中的结果。输出为12 V、8 A，输入电压设置为13 V，以使电路工作在4开关切换模式。

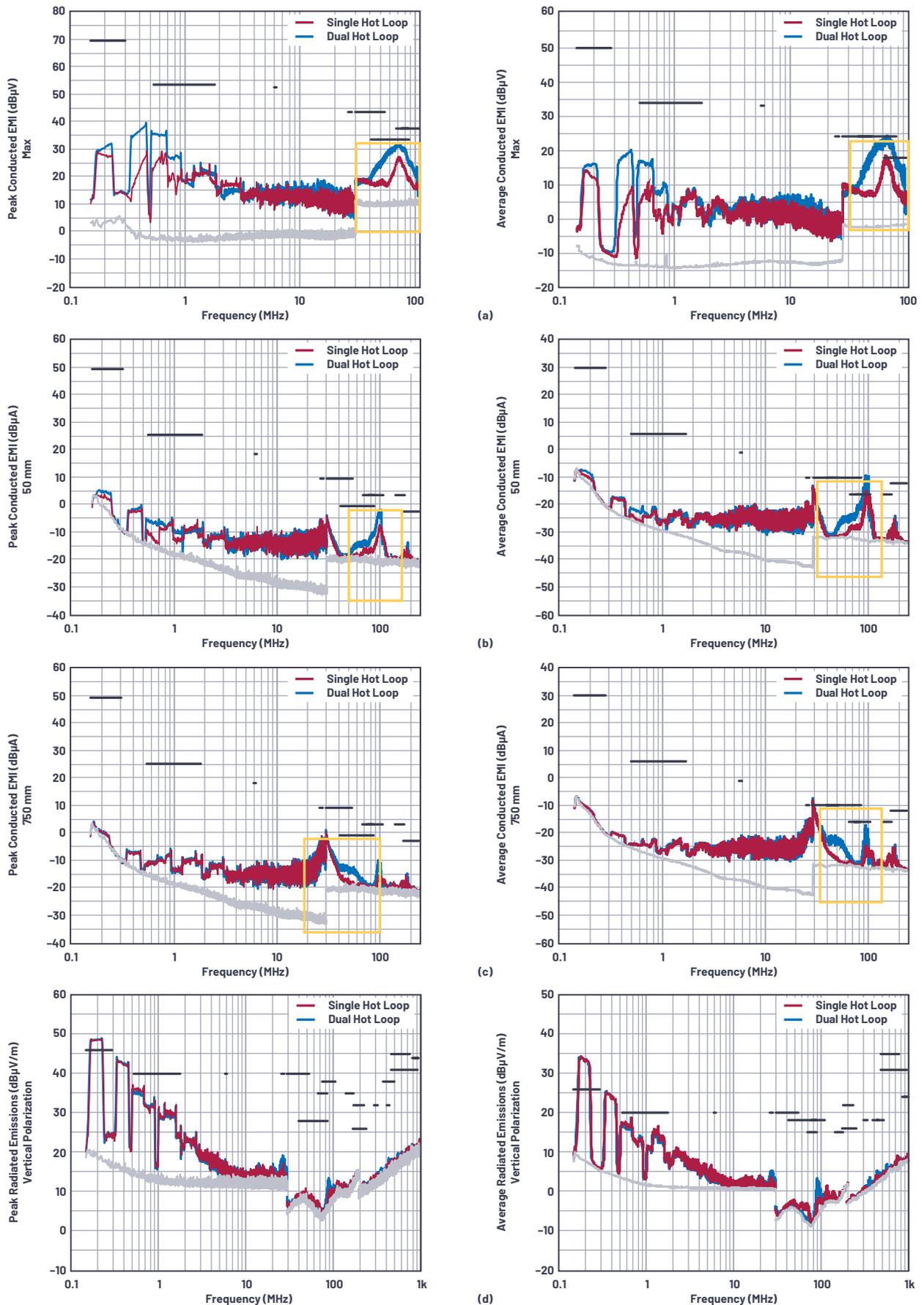


图3. 双热回路和单热回路的EMI比较曲线, (a) 电压法传导发射峰值和均值, (b) 电流探针法传导发射50 mm峰值和均值, (c) 电流探针法传导发射750 mm峰值和均值, (d) 辐射发射垂直峰值和均值。

图3(a)分别显示了电压法传导发射的峰值和均值。单热回路在30 MHz以上的CE要低5 dB μ V, 满足CISPR 25 Class 5标准对峰值和均值CE的要求, 而双热回路在FM和VHF频段 (68 MHz至约108 MHz) 的均值有过冲, 如黄色高亮框所示。

请注意, 在该频率范围内降低5 dB μ V非常有挑战性。单热回路不仅在30 MHz的高频范围 (这是最难衰减的区域) 有效, 在包括AM频段 (0.53 MHz至约1.8 MHz) 的低频(<2 MHz)范围也有效。辐射总是越低越好, 尤其是当其为CE时, 因为这会影响所有电连接的系统。

电流探针方法是CISPR 25 Class 5指定的另一种测量方法。它在距离DUT 50 mm和750 mm的两个不同位置测量共模传导发射, 而电压方法测量共模和差模的混合传导发射。图3(b)和3(c)比较了双热回路和单热回路的电流探针法传导发射。结果表明, 单热回路在30 MHz以上 (尤其是FM频段) 具有更低的传导发射, 如黄色高亮框所示。与电压法传导发射不同, 在AM频段周围的低频处, 单热回路相对于双热回路没有显著优势。

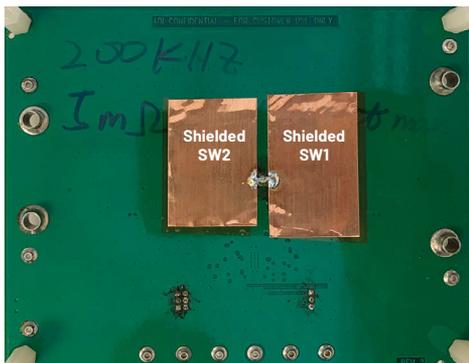
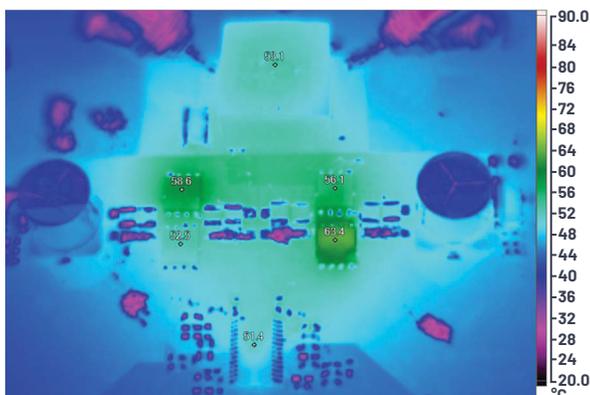
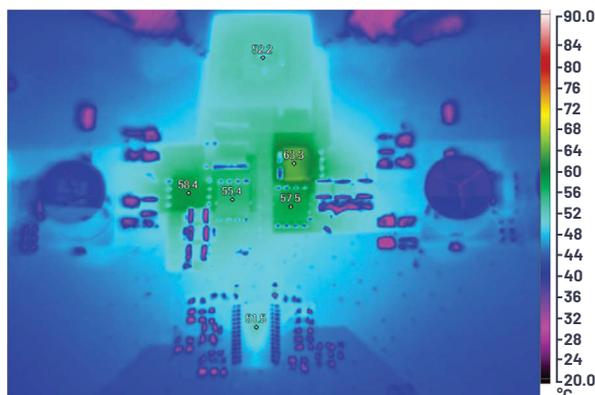


图4. 双热回路的底层的屏蔽开关节点

最后, 图3(d)显示了两种不同降压-升压布局的辐射发射(RE)。结果几乎相同, 不过双热回路的尖峰在大约90 MHz时, 比单热回路高5 dB μ V/m。



(a)



(b)

图5. (a) 双热回路的热图像, (b) 单热回路的热图像。

热比较

图5显示了双热回路和单热回路的热比较。热图像是在9.4 V输入电压和SSFM开启的情况下测得。9.4 V是4开关工作区域的最低点, 此后工作模式切换到输出电压为12 V的2开关纯升压模式。因此, 测试条件最为恶劣。双热回路的最热元件、升压侧底部MOSFET和单热回路的温度几乎相同。虽然单热回路的底层没有可以散热的开关节点通孔和铜, 但由于热回路较小, 其开关损耗低于双热回路。另外, 不使用开关节点过孔使得单热回路的顶层能够更好地散热, 因为MOSFET漏极焊盘和开关节点铜的接触面积大于双热回路的接触面积。

结论

新的高功率设计建议使用新型单热回路降压-升压布局。由于开关节点的裸露部分和热回路面积小, 单热回路具有降低传导和辐射发射的明显优势, 而不存在任何散热缺点。值得注意的是, 它能降低30 MHz以上的传导发射, 这是最难衰减的频率区域。由于ADI公司的4开关降压-升压控制器 (LT8390/LT8390A、LT8391/LT8391A、LT8392、LT8393、LT8253等) 具备专有峰值降压/峰值升压电流模式控制特性, 因此热回路可以做得比竞争器件的热回路小很多。该控制特性导致效率更高而EMI更低, 使得ADI公司的4开关降压-升压控制器成为汽车应用或任何EMI敏感应用的出色选择。



作者简介

Yonghwan Cho是ADI公司高级应用工程师，工作地点位于美国加利福尼亚州圣克拉拉。他关注DC-DC开关稳压器，包括4开关降压-升压调节器和用于汽车应用的LED驱动器。Yonghwan于2017年获得美国北卡罗来纳州立大学罗利分校的电气工程博士学位。联系方式：yonghwan.cho@analog.com。



作者简介

Keith Szolusha是ADI公司应用总监，工作地点位于美国加利福尼亚州圣克拉拉。自2000年起，Keith任职于BBI Power Products Group，重点关注升压、降压-升压和LED驱动器产品，同时还管理电源产品部的EMI室。他毕业于马萨诸塞州剑桥市麻省理工学院(MIT)，1997年获电气工程学士学位，1998年获电气工程硕士学位，专攻技术写作。联系方式：keith.szolusha@analog.com。

