



Luntrasu Flavius-Alexandru, Brigitte Hauke

摘要

以下应用手册提供了关于提高 TPS63xxx PCB 设计的 EMI 性能的指南。简要介绍了非反相降压/升压转换器的主要辐射源。提出了三种不同解决方案的参数。通过消声室测量验证了这些解决方案的有效性。

内容

1 引言.....	2
2 EMI 源.....	2
3 器件优化.....	3
4 从两层板变换到四层板.....	4
5 机箱接地的附加电容.....	5
6 总结.....	6
7 参考文献.....	6
8 修订历史记录.....	6

插图清单

图 2-1. 同相降压/升压转换器中的 EMI 源.....	2
图 3-1. TPS63070 的典型应用.....	3
图 3-2. Webench 布局 (左侧) 和经过优化的布局 (右侧) 的顶层.....	3
图 3-3. Webench 布局和经过优化的布局的辐射 EMI 响应.....	4
图 4-1. 两层板 (左) 和四层板 (右) 的层堆叠.....	4
图 4-2. 两层和四层 PCB 的辐射 EMI 响应.....	4
图 5-1. 连接机箱接地层时辐射发射的变化.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

满足明确定义的排放标准是将新产品推向市场的关键要求。但如今，这些产品中几乎有一半最终不符合排放标准。这会导致产品延迟上市，并会迅速增加产品的最终成本。本报告阐述了可实现用以提高 EMI 性能的 TPS63xxx PCB 集成的经验法则解决方案。

2 EMI 源

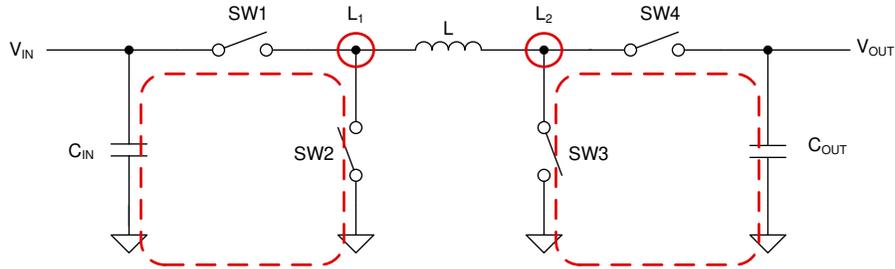


图 2-1. 同相降压/升压转换器中的 EMI 源

图 2-1 突出显示了同相降压/升压转换器中的主要 EMI 源。

第一个 EMI 源是位于输入电容器 (C_{IN}) 和 SW2 之间的热回路。负责 EMI 的第二个回路是位于输出电容器 (C_{OUT}) 和 SW3 之间的回路。回路发生情况取决于转换器工作模式。在图 2-1 中，左侧回路在降压模式运行期间存在，而最右侧回路在升压模式运行期间存在。由于开关逻辑，这些回路的电流随时间的变化率 (di/dt) 会很高。考虑到电容器的等效串联电感 (ESL) 和电感器上的电压方程 [方程式 1](#)，可以看出这些热回路会产生不需要的电压 (v_L)。

$$v_L = L \times \frac{di}{dt} \quad (1)$$

开关节点 L_1 和 L_2 是另一个 EMI 源。根据运行模式 (L_1 表示降压， L_2 表示升压)，这些节点的电压随时间的变化率 (dv/dt) 会很高。电压的变化会在电容器中产生不需要的电流，如 [方程式 2](#) 所示。请记住，电感器绕组之间会产生电容，可能发生寄生电流 (i^2C)。

$$i_c = C \times \frac{dv}{dt} \quad (2)$$

除了电感器的寄生电容，节点和接地层之间还存在另一个电容。该电容由 [方程式 3](#) 描述，在很大程度上受到节点所在的层与最近的接地层之间的距离 (d) 以及平行板 (A) 区域的影响。 ϵ_0 和 ϵ_r 是自由空间的介电常数 ($\epsilon_0=8.85\text{pF/m}$) 和两个板之间介质的相对介电常数。

$$C = \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times A}{d} \quad (3)$$

以下部分将介绍经测试可减少辐射的解决方案。所提议的解决方案伴随着可证明其有效性的测量。此类测量是根据 [节 7](#) 中引用的 CISPR 16-2-3 标准和规定进行的。

3 器件优化

图 3-1 所示为 TPS63070 典型应用的电路。本应用手册中使用了此电路。初始 PCB 布局概念是德州仪器 (TI) 针对已构建 PCB 建议的 **Webench** 布局。

请注意，**Webench** 布局并未针对卓越 EMI 性能进行优化，而是针对放置不同尺寸组件的能力进行了优化。

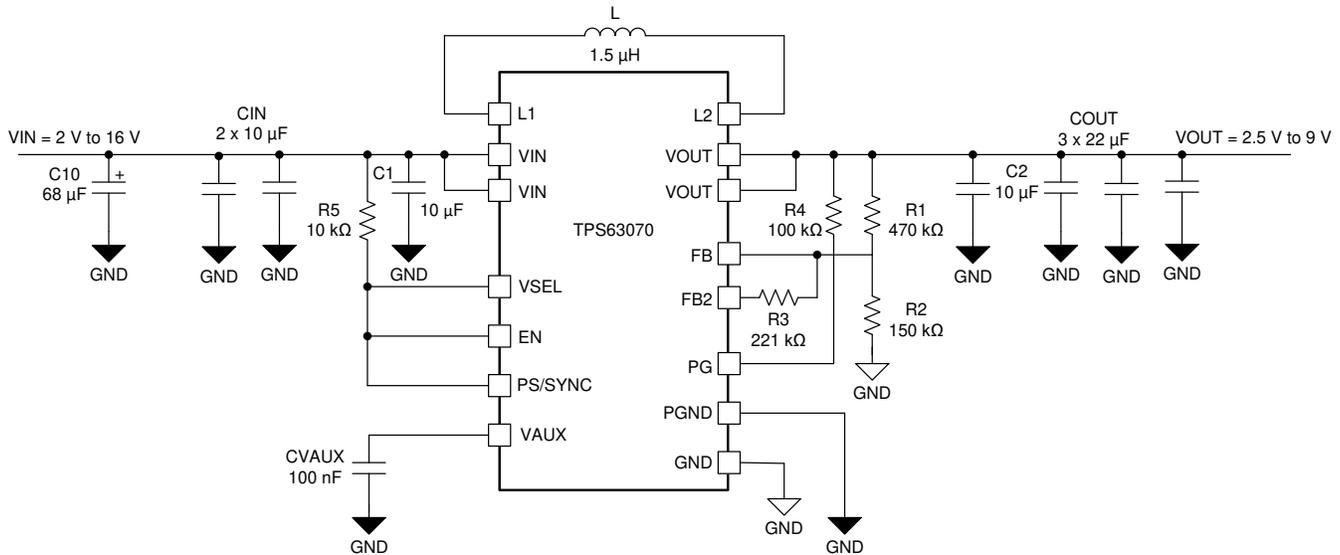


图 3-1. TPS63070 的典型应用

Webench PCB 布局是一种双层方法。除电感器端口之外的所有平面都保留在顶层。底层由电感器端子及输入和输出平面组成。可对 **Webench** 布局进行优化以提高辐射性能，如下所示：

- **最大限度地减小热平面**：对应于输入、输出、电感器和其他组件连接的网络的面积应在设计允许的范围内尽可能小。最大面积应分配给接地层。
- **将布线完全保留在一个层上**：尽可能避免在布线中间的层之间交叉。此过程减少了过孔数量并降低了整体平面电感。

图 3-2 所示为 **Webench** 布局 (左侧) 和经过优化的布局 (右侧) 的顶层。它突出显示了极小的平面和缺乏串扰。

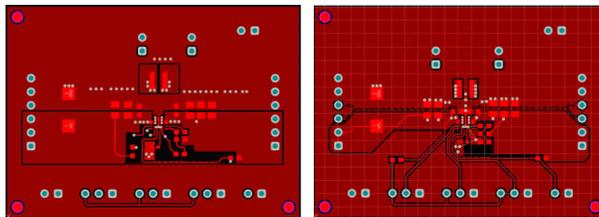


图 3-2. **Webench** 布局 (左侧) 和经过优化的布局 (右侧) 的顶层

图 3-3 所示为上述改进的优势。这两种测量方法之间的差异非常明显并且很容易看出。从数字角度而言，这种差异在严重受影响的频率下会高达 10dB。

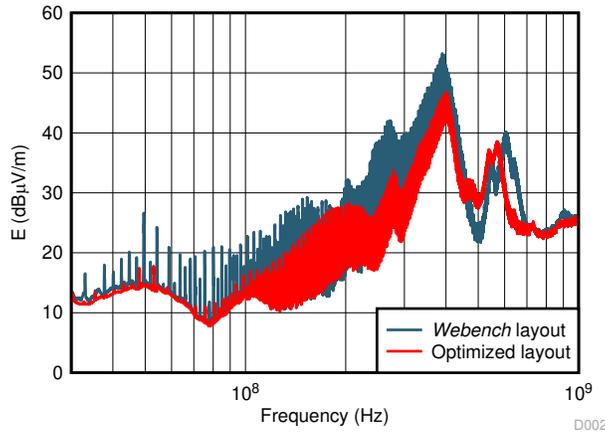


图 3-3. Webench 布局和经过优化的布局的辐射 EMI 响应

4 从两层板变换到四层板

可最大限度地减小辐射的一种常用设计解决方案采用的是四层板。在现有的顶层和底层附近添加两个接地层可显著提高 EMI 性能。新的接地层由填充材料隔开，并尽可能靠近顶层和底层。通过添加接地层，返回电流形成的环路面积显著减少。因此，与两层解决方案相比，减少的环路面积能够更好地抵消磁通。

图 4-1 所示为两层板（左）和四层板（右）的层堆叠。两个额外的接地层可显著降低板之间产生的寄生电容。之所以能减少这种电容，是因为信号层和 GND 层之间的距离被尽可能缩短。如先前在方程式 3 中所述，层间距离与两个板之间出现的电容成反比。

请注意，两个信号层之间的距离在两种情况下都保持不变。

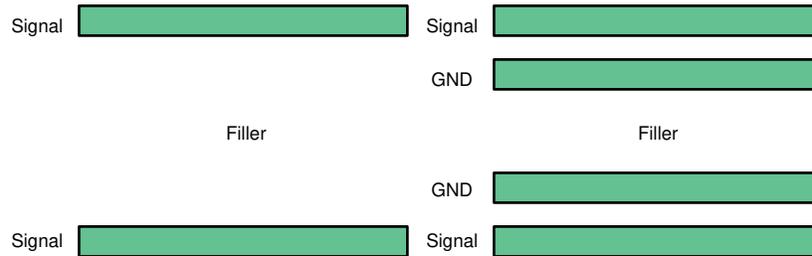


图 4-1. 两层板（左）和四层板（右）的层堆叠

图 4-2 中突出显示了四层板带来的影响。总体而言，变换到四层 PCB 可提高辐射性能。在极端的情况下，辐射场的减少在 4dB 到 10dB 之间变化。

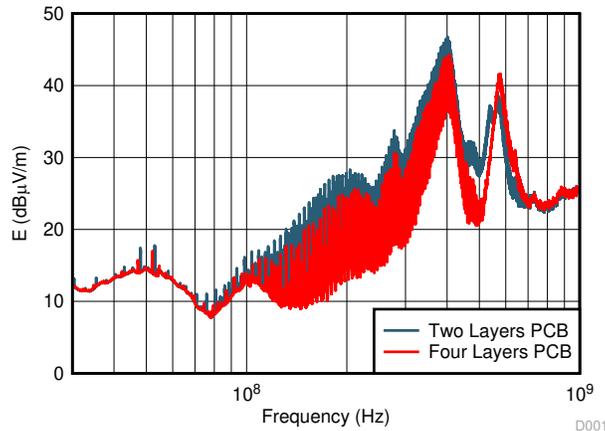


图 4-2. 两层和四层 PCB 的辐射 EMI 响应

5 机箱接地的附加电容

从天线理论的角度来看，电缆只不过是一个辐射体。转换器所在的机箱或外壳可作为该辐射体的参考平面。电缆和机箱之间的电势差是驱动此天线的电压。由于存在这种现象，外部电缆（如用于连接电源的电缆）会是主要的辐射源。为了更大限度地减少这些辐射，必须控制和减小前面提及的电势差。一个很好的方法是在机箱和连接到潜在辐射体的 PCB 引脚之间提供高频低阻抗连接。

为了将此原理应用于 TPS63070 转换器 PCB，底部平面已被中性机箱接地层所取代。高频电容器已用于将这个新接地层连接到输入端、输出端和地平面。这样，就为高频信号提供了低阻抗路径。

请注意，这些电容器应尽可能靠近 PCB 上的电缆端接放置。这样，我们便可确保机箱接地层和连接平面之间的压差处于极低水平。

图 5-1 所示为此解决方案对于整体设计的好处。辐射场在所有频率下都已减小，而且没有做出重大取舍。通过实施该解决方案，可将辐射发射额外降低 5dB。

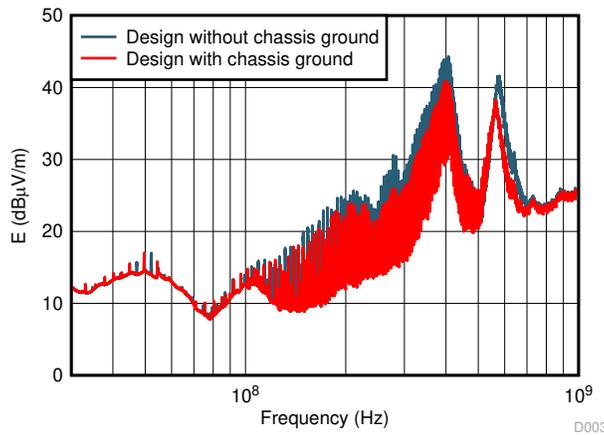


图 5-1. 连接机箱接地层时辐射发射的变化

6 总结

本应用手册重点介绍了三种可减少辐射电磁干扰的解决方案。在 CISPR 标准推荐的类似测量条件下，在消声室中获得的测量数据为所提出的解决方案提供了数据支持。虽然报告中所述的解决方案表明可提高 EMI 性能，但值得注意的是，仅靠它们并不能确保满足所要求的标准。在处理 EMI 时，辅助设备、电源、负载也会对最终结果产生影响，因此需要考虑它们产生的影响。

7 参考文献

- 德州仪器 (TI), 《[TPS63070 具有 3.6A 开关电流的 2V 到 16V 降压/升压转换器](#)》数据表
- Henry W. Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering, copyright 2009, John Wiley & Sons Inc., ISBN-13: 978-0470189306
- Mark I. Montrose, Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance, Second Edition, Copyright 2000, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., ISBN: 978-0-780-35376-3
- [CISPR 16-2-3:2016](#) Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods - Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity - Radiated disturbance measurements

8 修订历史记录

注：以前版本的页码可能与当前版本的页码不同

Changes from Revision * (April 2020) to Revision A (June 2021)	Page
更新了整个文档中的表格、图和交叉参考的编号格式。.....	2

重要声明和免责声明

TI 提供技术和可靠性数据 (包括数据表)、设计资源 (包括参考设计)、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源, 不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保, 包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任: (1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品, (2) 设计、验证并测试您的应用, (3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。这些资源如有变更, 恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务, TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 TI 的销售条款 (<https://www.ti.com/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com](https://www.ti.com) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

邮寄地址: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2021, 德州仪器 (TI) 公司

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2022，德州仪器 (TI) 公司