

Application Note

优化医疗成像应用中降压稳压器的 EMI 性能



McKenna Strambi, Camilo Alvarez, and David Daniels

摘要

对于低噪声医学成像应用，降低电磁干扰 (EMI) 的影响日益成为一个关键的系统设计考虑因素。低 EMI 设计可以显著缩短开发周期，同时还可以减小电路板面积并降低设计成本。尽管元件选型对降低 EMI 有很大影响，但布局优化在降低 EMI 方面也起着重要作用。

本应用手册讨论 TI 新推出的四款降压器件在传导和辐射发射方面的改进情况。以两个降压转换器 (TPS543820 和 TPS543A22) 和两个降压转换器模块 (TPSM843620 和 TPSM843A22) 为例，探究 PCB 布局和输入滤波的影响。请注意，这些转换器和模块具有相关性：TPSM843A22 是 TPS543A22 转换器的模块版本，TPSM843620 是 TPS543820 转换器的 6A 模块版本。

新的 EMI 优化型布局旨在测试改进的布局对 EMI 性能的影响。因此，在使用和不使用二阶输入 π 型滤波器的情况下，测试了这些电路板对 EMI 性能的影响。在针对 EMI 性能进行了优化的修订版 PCB 中，为了最大限度降低噪声，使用了过孔拼接、最大限度减少高 di/dt 电流环路以及提高功率密度等布局方法。

在本文结束时，读者可以了解 PCB 布局和适当的输入滤波对降压转换器设计 EMI 性能的优化程度。

内容

1 引言.....	2
2 降低 EMI 的布局技术.....	2
2.1 放置无源器件.....	2
2.2 接地灌铜.....	2
2.3 尽量减少天线数量.....	2
2.4 过孔拼接.....	2
2.5 最大限度减小阻抗或噪声的其他步骤.....	3
3 设计 EMI 优化型布局.....	3
4 辐射干扰的测试结果.....	5
5 EMI 滤波.....	7
6 总结.....	10
7 参考资料.....	10

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 引言

电磁干扰 (EMI) 是医疗成像应用 (尤其是超声波扫描仪) 中的一个重要主题, 因为这些设备对超声波探头频率范围内的噪声很敏感。在这些频率下的 EMI 会降低图像质量, 因此在您的设计中尽量消除导致已知噪声源, 对于改善测量精度和质量结果至关重要。

在设计任何超声波应用时, 探头频率范围 (通常介于 2MHz 和 20MHz 之间) 和三次谐波是需要考虑的重要参数。三次谐波可以按照目标频率的三倍来计算; 在本文中, 我们尤其关注不会干扰超声波频率范围的开关频率 (f_{sw})。为避免受到开关频率三次谐波的任何干扰, 请使用以下公式进行计算: [方程式 1](#) 或 [方程式 2](#)。因此, 将开关频率保持在 600kHz 或更低可以使设计更加灵活, 并允许将电源与 2MHz 至 20MHz 范围内的任何探头搭配使用。为此, 本应用手册中的所有降压转换器都在 500kHz 的开关频率下工作。

$$f_{sw} \leq \frac{2MHz}{3} \quad (1)$$

$$f_{sw} \leq 667kHz \quad (2)$$

2 降低 EMI 的布局技术

2.1 放置无源器件

为尽量降低噪声, 强烈建议在所有电源中将去耦电容器放置在尽可能靠近 IC 的位置。这样可以缩短高频电流必须行进的距离, 从而最大限度减小这些频率辐射过的环路天线面积。

对于输出无源器件, 将最高频率输出电容器放置在靠近电感器输出侧的位置有助于最大限度减少源端的振铃。电容器离电感器越远, 引入的串联电阻越大, 对滤除高频开关噪声的影响就越小。因此, 较大的电容器需要放置得更远, 而较小的电容器需要优先放置, 因为它们的等效串联电阻 (ESR) 通常较小。

2.2 接地灌铜

通过在电源布线和信号布线周围构建一个实心接地平面, 可形成一个低阻抗屏蔽层以防止噪声。本应用手册中的所有电路板均为四层 PCB。每一层的电源布线和信号布线周围都有接地覆铜, 但其中一个中间层完全是接地平面, 没有任何电源布线和信号布线。这样可以防止在进出电路敏感区域时由于返回路径电阻减小而产生不必要的干扰。请注意, 在对接地平面进行灌铜时, 请勿采用散热措施。应在所有相同的网孔和过孔上进行灌铜。

2.3 尽量减少天线数量

如果将覆铜布线或任何具有电流或电压的导体暴露在外, 都可能导致其充当天线并产生辐射。因此, 为最大限度减小此布局上的 EMI, 第一步是移除所有未填充的空间和测试点。

2.4 过孔拼接

过孔拼接技术涉及在外部接地层之间使用过孔连接。通过在电路周围创建这些均匀分布的过孔, 避免了 [图 2-1](#) 所示的接地环路连接, 最终得到 [图 2-2](#) 所示的结果。这种直接的接地方式可以进一步降低 PCB 中的阻抗和寄生效应。

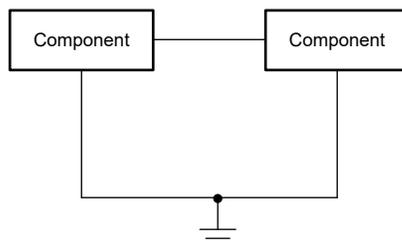


图 2-1. 接地环路连接

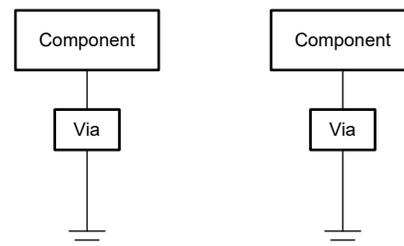


图 2-2. 避免了与过孔的接地环路连接

2.5 最大限度减小阻抗或噪声的其他步骤

下面列出了最大限度减小 PCB 中的阻抗和降低 EMI 的其他方法：

- 在所有接地引脚附近放置额外的过孔，可以按照前述类似方式进一步充分减小阻抗。
- 避免出现周围没有接地覆铜的开放空间。整体上，避免出现较大的功率/信号覆铜。
- 尽可能降低 PCB 高度。为此，可调整中心电介质，使电流在层与层之间流动的距离更短。

3 设计 EMI 优化型布局

针对四种不同的降压稳压器，创建了四种不同的布局：

1. TPS543820
2. TPSM843620
3. TPS543A22
4. TPSM843A22

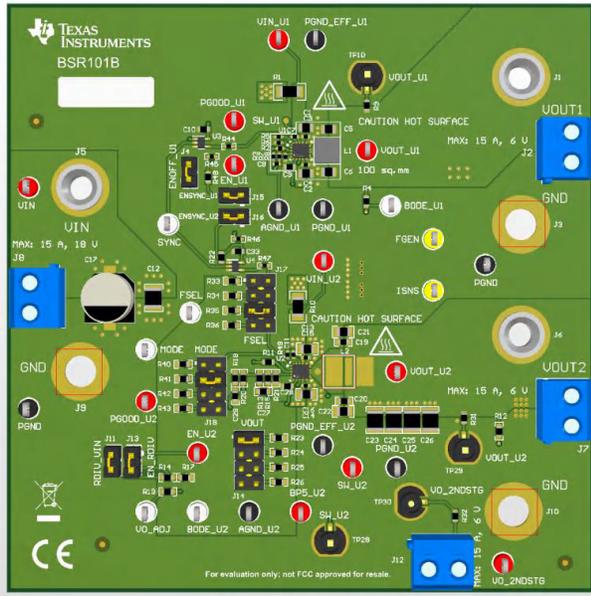


图 3-1. TPS543620 EVM 标准布局

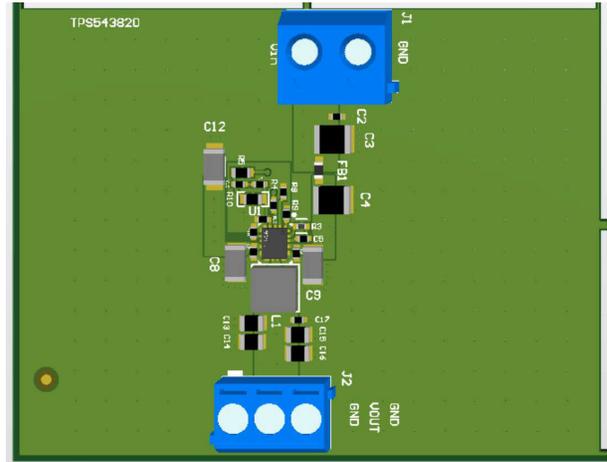


图 3-2. TPS543820 EMI 优化型布局

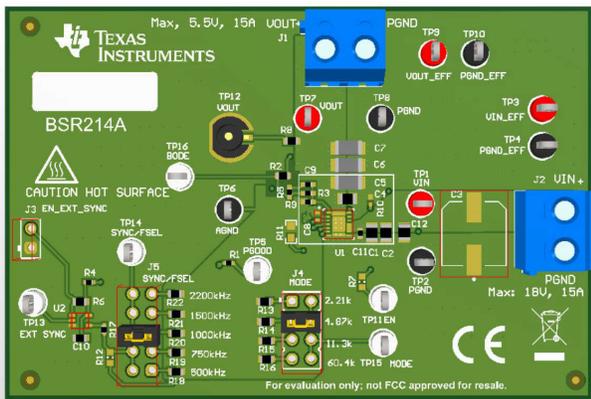


图 3-3. TPSM843620 EVM 标准布局

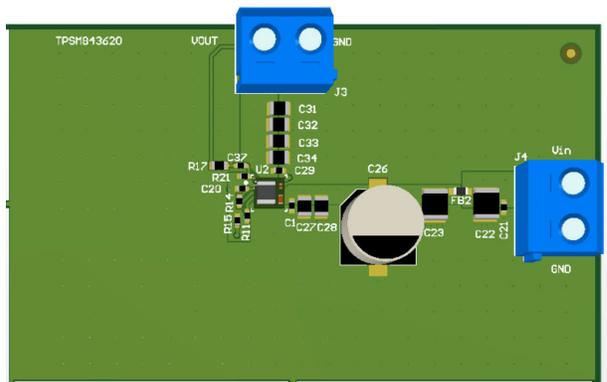


图 3-4. TPSM843620 EMI 优化型布局

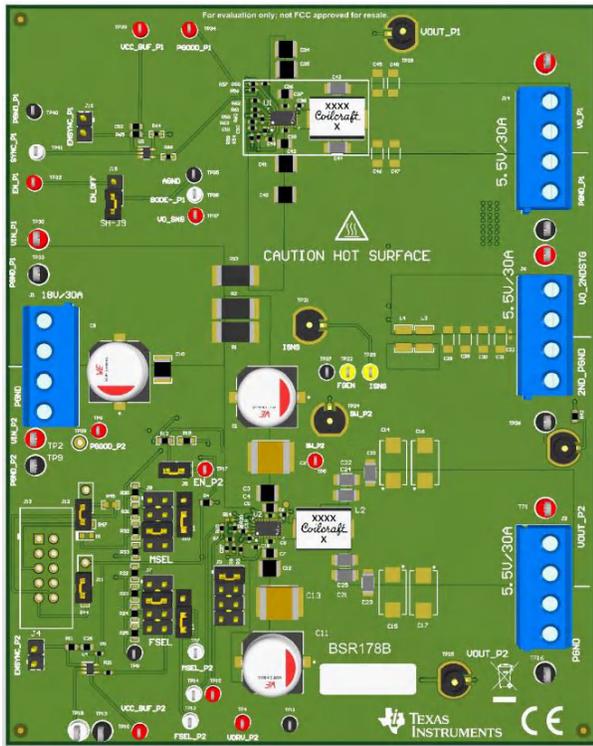


图 3-5. TPS543B22 EVM 标准布局

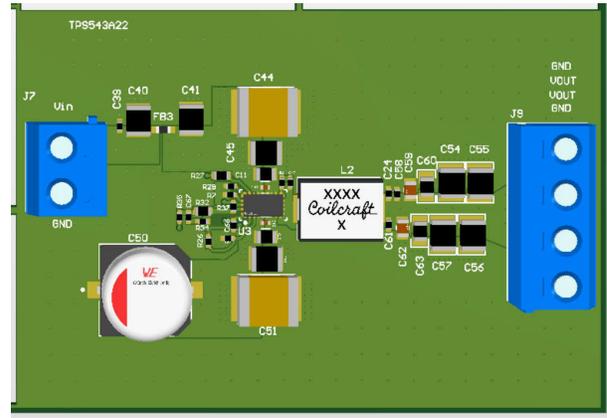


图 3-6. TPS543A22 EMI 优化型布局

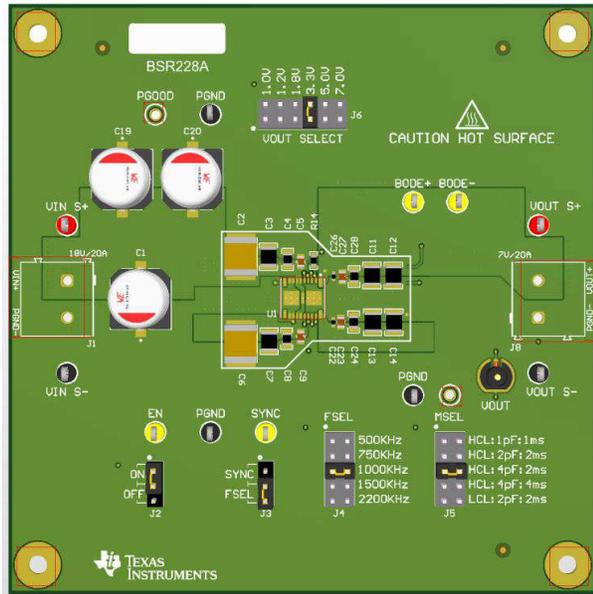


图 3-7. TPSM843B22 EVM 标准布局

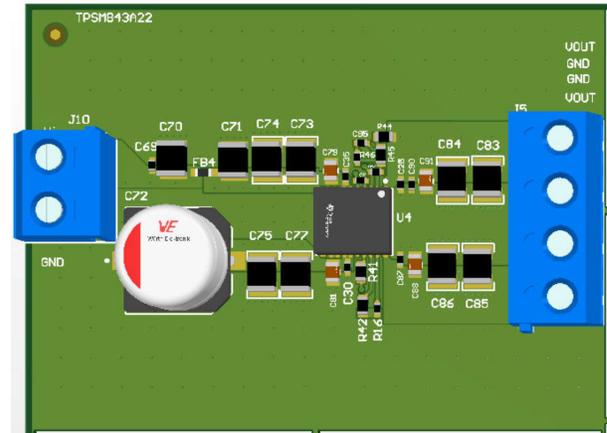


图 3-8. TPSM843A22 EMI 优化型布局

4 辐射干扰的测试结果

以下数据是在采用 CISPR32 预合规设置的情况下在 CISPR 室中获取的。这些结果未经过正式的 CISPR 认证。下表汇总了每组测试的实验设置。相关设置的照片如图 4-1 所示。结果表明辐射发射显著改善，仅改变布局即可大幅降低 EMI。

表 4-1. 测试条件

IC	Vin	Vout	Iout	开关频率
TPS543820	12V	1.2V	8A	500kHz
TPSM843620	12V	1.2V	6A	500kHz
TPS543A22	12V	1.2V	10A	500kHz
TPSM843A22	12V	1.2V	10A	500kHz



图 4-1. 辐射发射测试设置

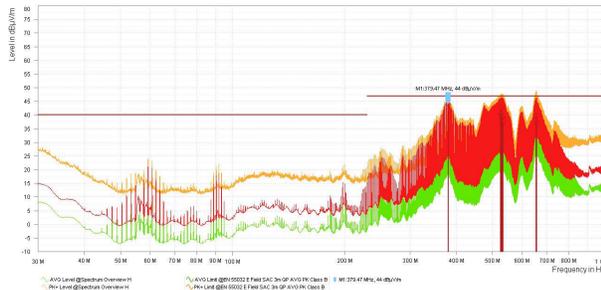


图 4-2. TPS543620 EVM 结果



图 4-3. TPS543820 EMI 优化型结果

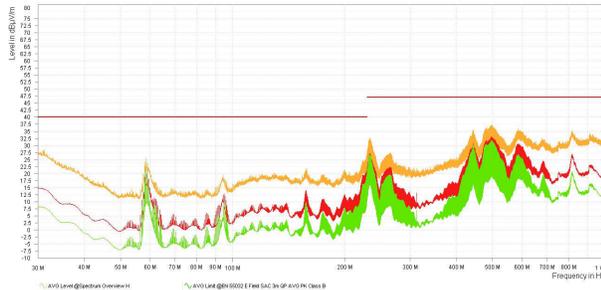


图 4-4. TPSM843620 EVM 结果

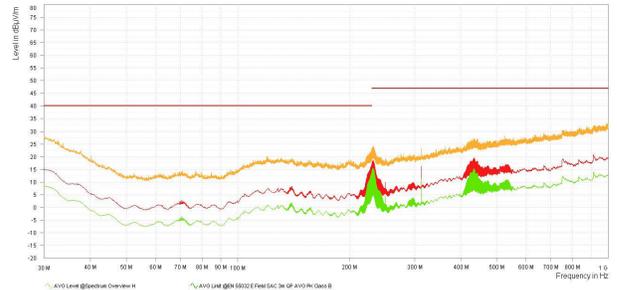


图 4-5. TPSM843620 EMI 优化型结果

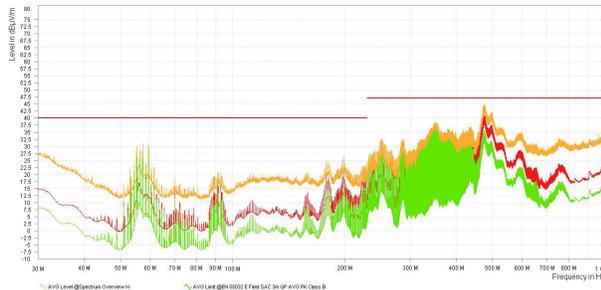


图 4-6. TPS543B22 EVM 结果



图 4-7. TPS543A22 EMI 优化型结果

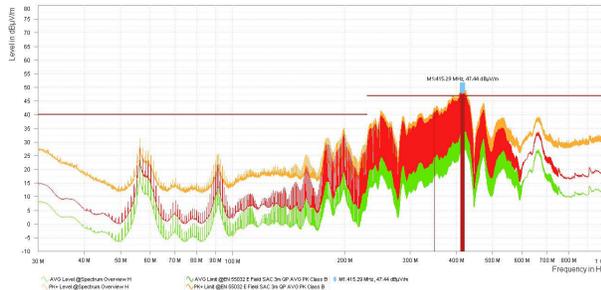


图 4-8. TPSM843B22 EVM 结果



图 4-9. TPSM843A22 EMI 优化型结果

5 EMI 滤波

为了帮助降低电路板在开关频率下的传导 EMI，我们测试了两种不同输入滤波器类型的影响：

- 基于铁氧体磁珠的 π 型滤波器
- 基于电感器的 π 型滤波器

π 型滤波器如图 5-1 所示，其中铁氧体磁珠或电感器位于两个电容器之间。

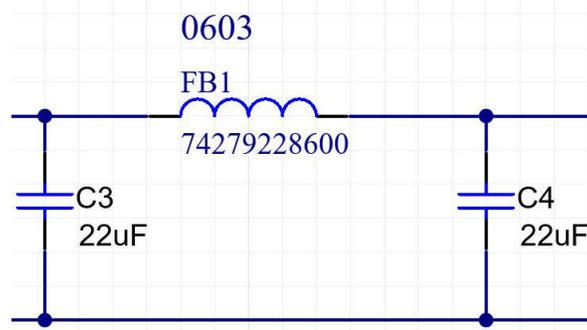


图 5-1. 采用铁氧体磁珠的 π 型滤波器示例

铁氧体磁珠 π 型滤波器的仿真波德图如图 5-2 所示，电感器 π 型滤波器的仿真波德图如图 5-3 所示。

图 5-3 显示铁氧体磁珠滤波器在略高于 1MHz 处出现最大衰减，随后衰减开始趋于平缓，电感器滤波器同样在略高于 1MHz 时出现最大衰减，随后衰减开始趋于平缓。

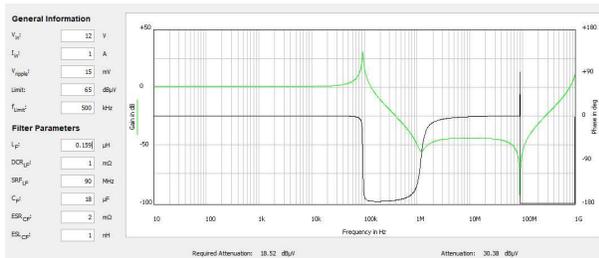


图 5-2. 铁氧体磁珠 π 型滤波器的波德图

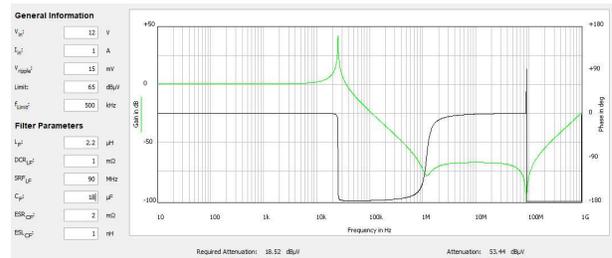


图 5-3. 电感器 π 型滤波器的波德图

我们通过一系列传导发射测试对仿真结果进行了测试，测试设置如图 5-4 所示。在以下传导 EMI 数据中，对于低于 2MHz 的频率，与铁氧体磁珠滤波器相比，电感器滤波器可显著改善传导 EMI。开关频率为 500kHz 时，2.2uH 电感器滤波器产生的衰减量增加了 35dB。

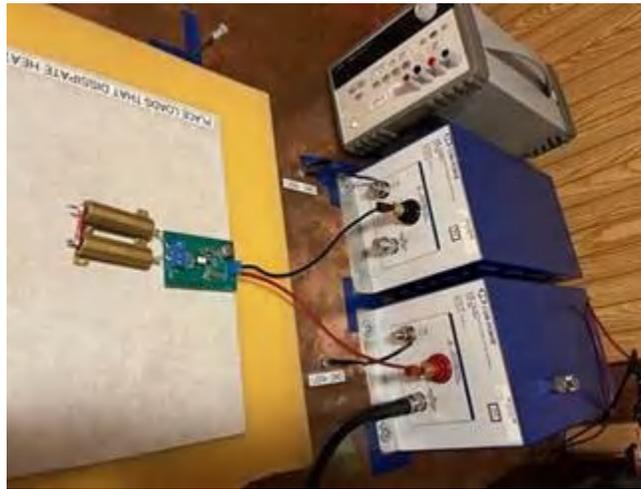


图 5-4. 传导发射测试设置



Date: 24.JAN.2024 10:34:18

图 5-5. 使用铁氧体磁珠滤波器时的 TPS543820 传导 EMI 结果



Date: 31.JAN.2024 16:12:51

图 5-6. 使用电感器滤波器时的 TPS543820 传导 EMI 结果



Date: 24.JAN.2024 15:11:26

图 5-7. 使用铁氧体磁珠滤波器时的 TPSM843620 传导 EMI 结果



Date: 31.JAN.2024 16:00:56

图 5-8. 使用电感器滤波器时的 TPSM843620 传导 EMI 结果



图 5-9. 使用铁氧体磁珠滤波器时的 TPS543A22 传导 EMI 结果



图 5-10. 使用电感器滤波器时的 TPS543A22 传导 EMI 结果



图 5-11. 使用铁氧体磁珠滤波器时的 TPSM843A22 传导 EMI 结果

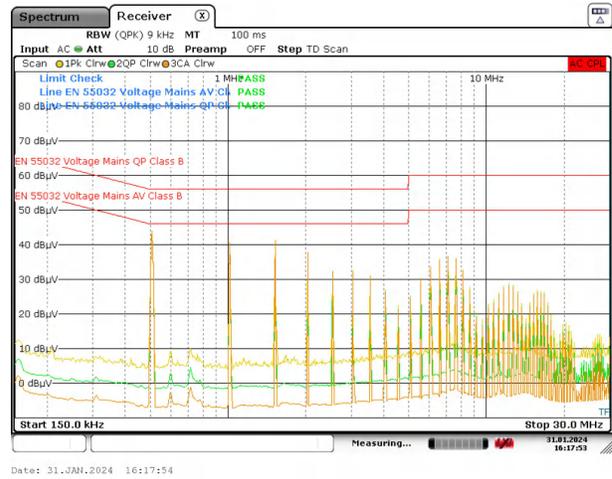


图 5-12. 使用电感器滤波器时的 TPSM843A22 传导 EMI 结果

6 总结

本应用手册展示了对 PCB 布局和输入滤波的改动，旨在改善辐射发射和传导发射。在下一个电路设计中，考虑使用这些优化措施对于改善最终产品的 EMI 性能和质量结果非常重要。

7 参考资料

- 德州仪器 (TI), [AN-2155 关于降低直流/直流转换器 EMI 的布局提示](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [使用 LMZM23601 的 EMI 降低技术](#) 应用手册。
- 德州仪器 (TI), [低 EMI](#)。
- 德州仪器 (TI), [医疗和保健](#)。

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 © 2024，德州仪器 (TI) 公司