

使用电源模块降低 EMI 噪声



Michael Daimer
模拟现场应用工程师
德州仪器

在设计开关电源时，您可能听说过电磁干扰（EMI）。

越来越多的应用必须通过 EMI 标准，以便其制造商获得商业转售批准。开关电源意味着器件内部有电子开关，EMI 可通过其进行辐射。

在本文中，本人将介绍开关电源中 EMI 的来源以及减轻 EMI 的方法或技术。本人还将向您展示电源模块（控制器、高侧和低侧 FET 及电感器在一个封装中）如何帮助降低 EMI。

开关电源中 EMI 的来源

首先，您无法打破物理学的规律。根据麦克斯韦方程组，交流电可产生电磁场。每个电导体中均会出现这种现象，其本质上具有一些可形成振荡电路的电容和电感。该振荡电路以特定频率（ $f=1/(2*\pi*\sqrt{LC})$ ）将电磁能辐射到空间中。该电路充当电磁能的发射器，但也可以接收电磁能并充当接收器。天线设计为最大化传输或接收能量。

但并非每个应用都应该像天线一样，并且可能会产生负面影响。例如，开关降压电源设计用于将较高的电压转换为较低的电压，但它们同时也充当了（不需要的）电磁波发射器，并且可能干扰其他应用，例如干扰 AM 频段。这种效应称为 EMI。

为了保持其应有的功能，最大限度地减少 EMI 源非常重要。国际无线电干扰特别委员会（CISPR）定义了各种标准，如作为汽车电气应用基准的 CISPR 25，以及针对信息技术设备的 CISPR 22。

如何降低电源设计的辐射 EMI 呢？一种方法是用金属完全屏蔽开关电源。但在大多数应用中，由于成本和空间的原因，这种方法无法作为一种选项。一种更好的方法是减少和优化 EMI 源。许多文献已经详细讨论了这一主题；本人在本文末尾推荐了两个。

让我们回顾一下开关电源中 EMI 的主要来源，以及为什么电源模块可以帮助您轻松降低 EMI。

减小布局中的电流环路

顾名思义，开关电源正在进行转换。它们的作用是以几百千赫到几兆赫的频率打开和关闭输入电压。这就导致发生了快速电流转换（ di/dt ）和快速电压转换（ dV/dt ）。交流电流和电压根据麦克斯韦方程组产生交变电磁场。这些磁场从其原点径向扩散，它们的幅度随距离而降低。

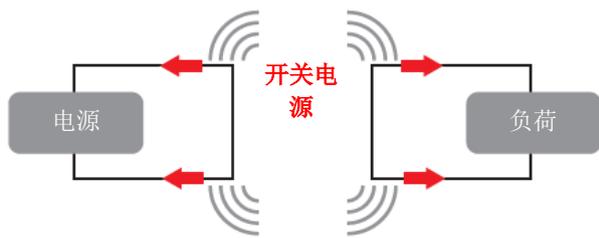


图1. 来自开关电源的EMI会对负载和主电源产生影响。

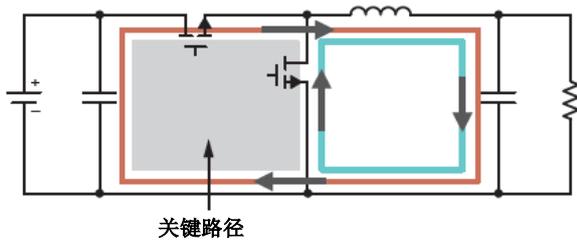


图2. 在输入端、开关和输入电容器之间形成临界电流环路。

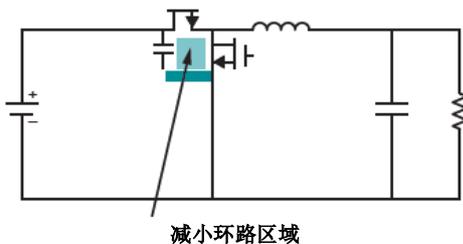


图3. 减小环路区域有助于降低EMI

磁场和电场会干扰应用的导电部件（例如，印刷电路板[PCB]上的铜迹线，就像天线一样）并在线路上产生额外的噪声，这样又会导致发生EMI（见图1）。几瓦功率的转换会增大辐射EMI的范围。

辐射的电磁能与其流过的电流（I）和环路面积（A）成正比。减小交流电流和电压环路的面积有助于降低EMI（见图2和图3）。

着眼于引脚排列（见图4）可以帮助您通过减小高dI/dt环路面积来发现创建良好布局的可能性。例如，开关节点是会引发高电流变化（dI）和高电压转换（dV）。良好的引脚排列可以分离噪声敏感引脚和噪声引脚。开关节点和启动引脚应尽可能远离噪声敏感型反馈引脚。此外，输入引脚和接地引脚应相邻。这样便简化了PCB上的布线和输入电容器的放置。

图5显示了LMR23630 SIMPLE SWITCHER转换器的改性评估模块（EVM）。两个输入电容器距离输入引脚约2.5厘米。之所以如此排列，是为了模拟不良布局，因为电流环路区域（图5中的红色矩形）比数据表所要求和建议的要大。图5中的椭圆形红色形状表示转换器和电感器之间的开关节点。IC和电感器之间的环路面积尽可能小。

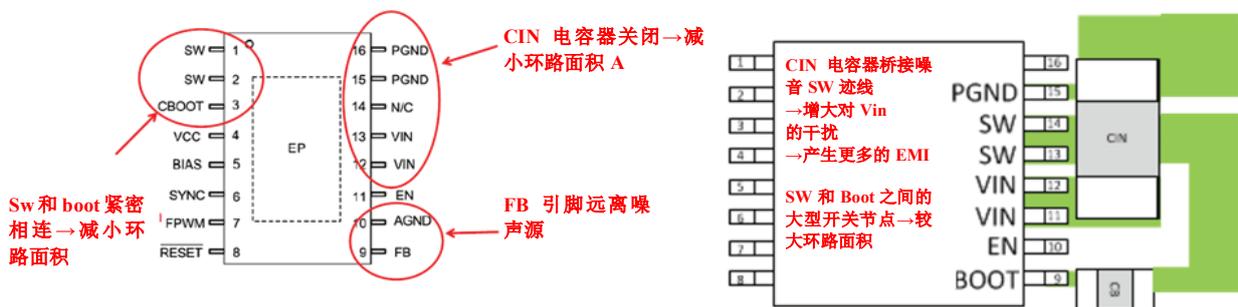


图4. 引脚排列有助于减小环路面积。左图：优化的引脚排列；右图：非优化布局，几乎无法实现良好的布局。

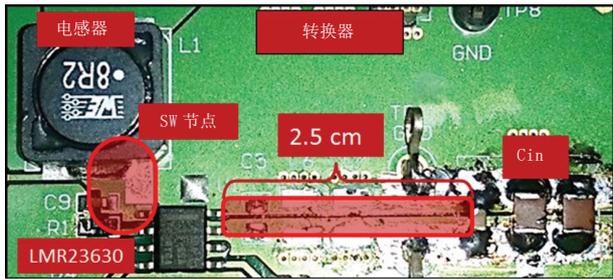


图 5. 输入引脚和输入电容器之间环路面积（红色矩形）较大的错误布局示例。在 IC 和电感器之间形成第二个环路区域（椭圆形红色形状）。

图6中的曲线图显示了LMR23630转换器的辐射EMI，其中只有 V_{IN} 、GND和输入电容器之间形成的环路面积不同。良好的布局可以使电容器尽可能靠近输入引脚和接地引脚（环路面积尽可能小）。而不良的布局会使输入电容器距离输入引脚2.5厘米，从而形成一个较大的环路面积。

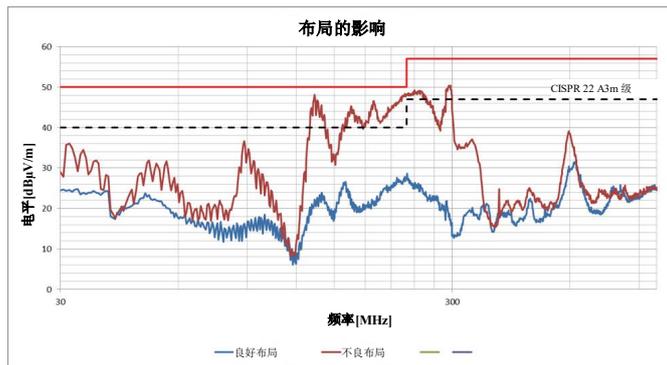


图 6. LMR23630 转换器输入电容布局对辐射 EMI 的影响。

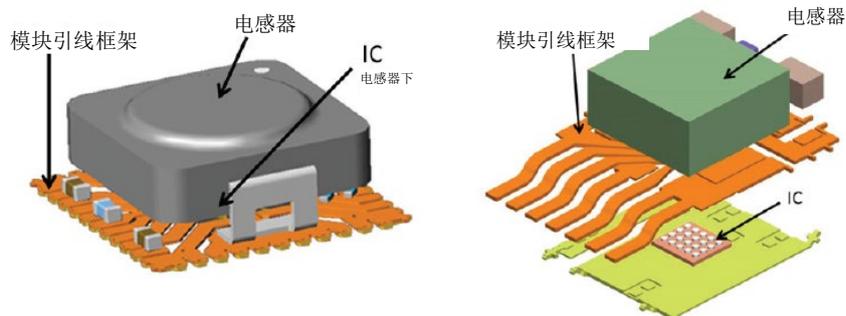


图 7. 不同类型电源模块的内部组成。在这两种情况下，电感器均位于 IC 晶片的顶部。

图6中曲线图的红线表示不良布局的辐射EMI。蓝线表示采用相同EVM的良好布局的辐射EMI。修改一个环路面积会产生巨大的影响。LMR23630转换器的辐射EMI水平可降低20 dB μ V/m以上。

因此，在采用降压转换器或降压电源模块进行设计时，如何放置输入电容器应该是一大首要考虑因素。电源模块还具有以下优点：电感器和IC之间的关键环路面积已经过优化。电感器在封装内部与集成电路连接（见图7）。这种放置方式会在封装内部形成一个较小的环路区域。因此，不必将噪声开关节点布线在印刷电路板上。

电源模块中使用的大多数电感器还受到屏蔽，以防止来自线圈的电磁辐射。在非常靠近电感器的地方会发生高电流电压转换，并且开关节点的一部分电磁场受到屏蔽，电感器位于引线框架的顶部（见图 7）。

快速的电压和电流瞬变

快速瞬变会导致开关节点发生振铃，从而产生 EMI。在某些情况下，转换器可连接至启动引脚。将一个电阻器与启动电容器串联放置会增加上升时间（dt），从而以降低效率为代价降低 EMI。

图 8 显示了 LMR23630 EVM 的 EMI 辐射扫描。对布局进行更改后，将输入电容器放在距引脚约 2.5 厘米远的位置，以模拟不良布局，并展示启动电容器的放置将如何影响 EMI 性能。在设计中多放一个启动电容器可能更容易，而不是完全改变布局。本人建议您在设计时始终将启动电容器考虑进去，以备不时之需。如果没有，您可以使用 0Ω 电阻器来减小 PCB 上的空间。

将启动电阻器与启动电容器串联可以降低 EMI 频谱。某些频率范围中的发射会降低达 6dB。图 8 还显示了效率平衡情况。使用 30.1Ω 的电阻器缩短上升时间 dt，从而将效率降低 1% 以上。

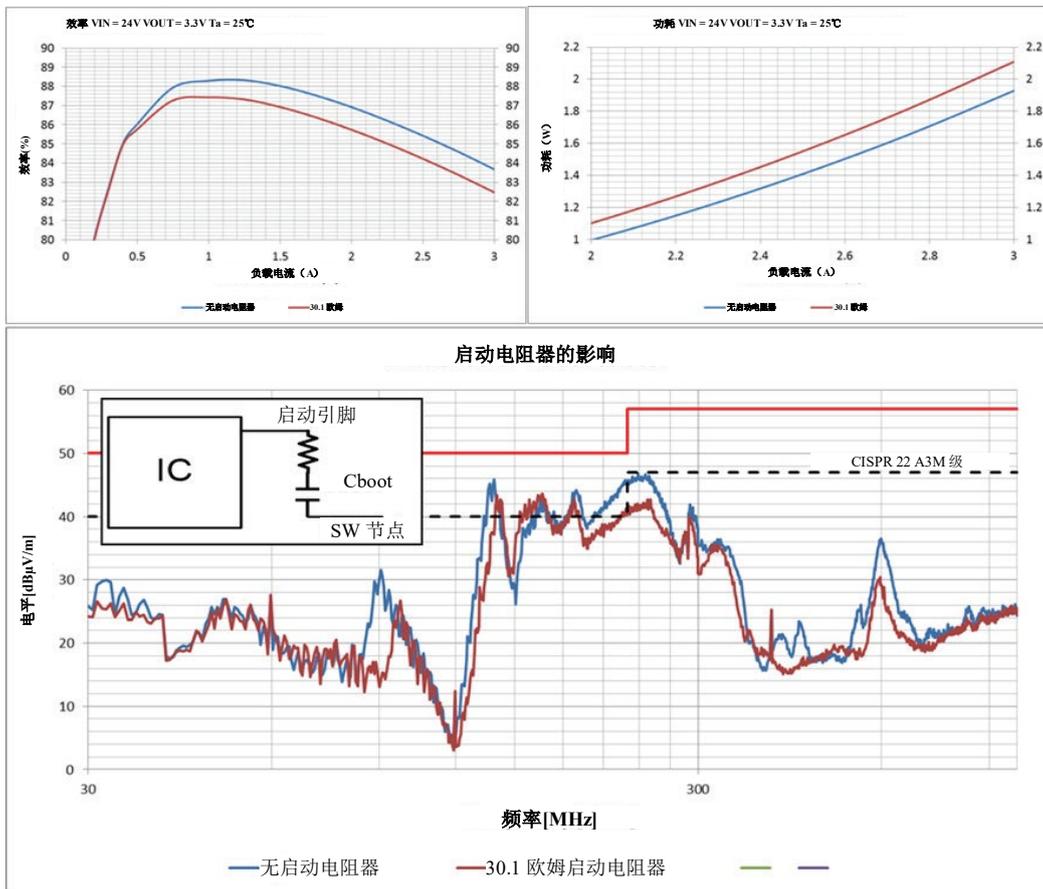


图 8. 将启动电阻器添加到 LMR23630 转换器开关节点的影响。辐射 EMI 较低，但由于开关损耗较高，因此效率有所降低。

看一下功率损耗就更能说明这一点。满载（3A）的功率损耗从 1.9W 增加到 2.1W。功率损耗超过 10%时，可能会引起问题并导致出现热问题。

通过在开关节点引脚和接地引脚之间放置一个小肖特基二极管来降低反向恢复电流，从而可以降低同步转换器中的开关节点电流振铃 dI，但这样会提高物料清单（BOM）成本。或者，您可以添加一个缓冲网络，其中包含一个位于开关节点与接地之间的额外大封装电容和电阻。缓冲器可燃烧开关节点振铃的能量，但需要知道附加组件的振铃频率和正确计算。它还降低了开关电源的效率。

电流路径中的寄生电感和电容

对于同步降压转换器，每个 IC 架构会产生不同量的噪声，表现为辐射 EMI。但很难从数据表中找到这一点。大多数数据表都没有提供 EMI 图，因为 PCB 布局、BOM 组件和其他因素会对 EMI 特性产生影响。

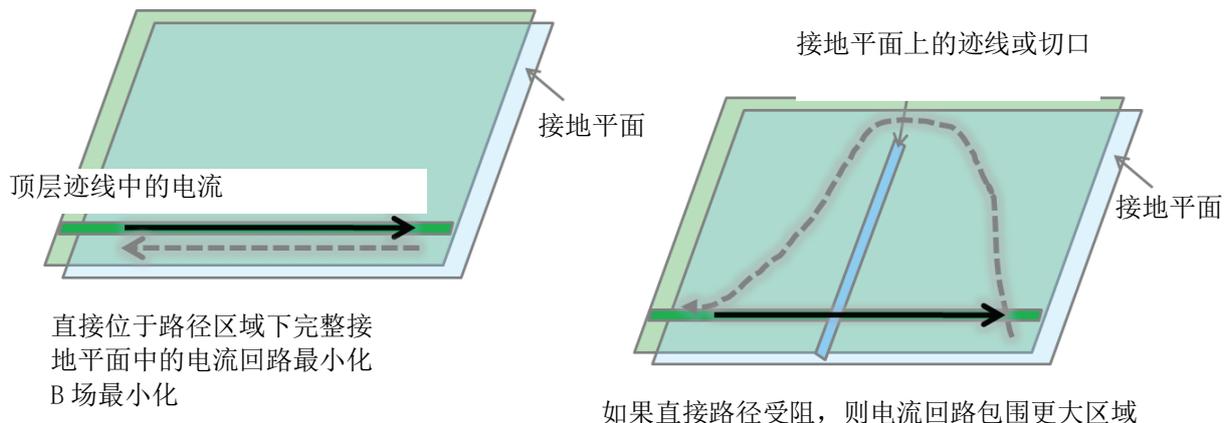


图9.PCB 中的切口和迹线会影响电流，因此也会影响辐射 EMI。

有时幸运的话，EVM 用户指南会提供此特定设计的 EMI 特性图。但如果您的设计与 EVM 的布局和 BOM 不匹配，则应用的 EMI 特性可能会有很大差异。电源模块简化了布局，实现了快速简便的设计，因为您只需要考虑一些经验法则。例如，尽量减少接地平面中的迹线或切口数量；必要时，将其设计为与电流方向保持平行（图 9）。

保护噪声敏感节点免受噪声节点的影响

尽可能缩短噪声敏感节点，并远离噪声节点。例如，从电阻分压网络到反馈（FB）引脚的长迹线可以充当天线并捕获辐射电磁干扰的噪声（图 10）。这种噪声会被引入 FB 引脚，致使输出端产生额外的噪声，甚至使器件不稳定。在设计开关降压调节器的布局时，将这一切都考虑在内是一个挑战。

噪声敏感节点	噪声节点
反馈引脚	开关节点
频率设定	电感器
补偿网络	高 dI/dt 电容器
传感路径等	FET、二极管等

表 1. 降压转换器中噪声敏感节点和噪声节点的示例。

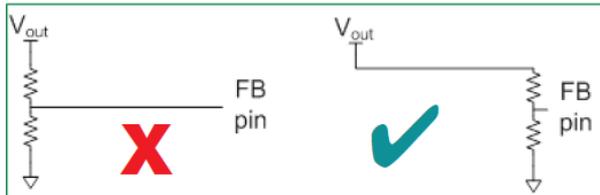


图 10. 始终将 FB 引脚上的电阻分压器尽可能靠近 FB 引脚放置。

模块的优势在于其可以将噪声敏感节点和噪声节点保持在最低限度，从而最大限度地减小选择错误布局的几率。唯一要注意的是保持 FB 引脚的迹线尽可能短。

结论

在开关降压转换器中有许多用来调节 EMI 的旋钮，但仅遵循最佳实践可能还不够好。找到最佳配置会消耗大量宝贵的设计时间。功率模块早已包括 FET 和电感器，这就使得创建和完成具有良好 EMI 性能的电设计变得简单而又快捷。使用降压模块进行设计时最关键的一点是一些外部元件的放置方式，它有助于显著提高 EMI 性能。

转换器和电源模块的 EMI 比较

之前本人说明了开关电源中 EMI 的来源以及如何减少 EMI。现在，本人将通过比较转换器和使用相同集成电路 (IC) 的电源模块之间的测量结果，来演示模块如何帮助减轻辐射 EMI。

两者均来自 TI 的 SIMPLE SWITCHER 产品线，转换器为 LMR23630，电源模块为 LMZM33603，采用 LMR23630 IC。本人对两个器件的 EVM 做了部分更改，以获得相同的 BOM 数，因此结果仅取决于所选部件（转换器或电源模块）和布局。两种 EVM 均具有良好的优化布局。之后，本人将电容器放置在远离输入引脚的位置，从而使布局变得更糟。

LMR23630 转换器的性能

图 11 显示了不同设计布局的四种不同 EMI 频谱。该设计逐步恶化（类似于图 5，仅逐步进行）。第一次测量（良好布局/蓝线）时，未对 EVM 的布局做出更改（良好布局中所有的输入电容器都非常靠近输入引脚）。第二次测量（小电容器靠近/红线）时，两个 4.7μF 电容器均放置在距输入引脚 2.5 厘米处。0.22μF 的小电容器非常靠近输入引脚。在第三（小电容器远离/绿线）和第四（无小电容器/紫线）次测量时，小电容器分别距输入引脚 2.5 厘米，然后完全移除。

您可以在图 11 中看到输入电容器的放置非常关键。将小输入电容器远离输入引脚放置或将其完全移除会违背 CISPR 22 A3M 级标准。将小电容器靠近输入引脚放置可以最大限度地减小高频环路面积。小电容器可滤除高频，而较大电容的电容器可滤除低频噪声。

电源模块的封装中通常包含一个小输入电容器。让我们看看布局变乱时电源模块的性能。

LMZM33603 电源模块的性能

图 12 显示了电源模块的 EVM 布局，同样逐步恶化。蓝线表示未更改 EVM 的辐射 EMI。

红线和绿线表示不良布局，其中一条线有两个 $4.7\mu\text{F}$ 输入电容器，位于 PCB 底部下方（红线）。绿线的电容器距输入引脚约 3.5 厘米（图 13 中以红色椭圆形突出显示）。图 13 中的红色粗线还显示了更改后的 EVM，以及 V_{IN} 、输入电容器和接地之间形成的关键环路区域。EMI 性能变差，但并不违背 CISPR 22 A3M 级标准。

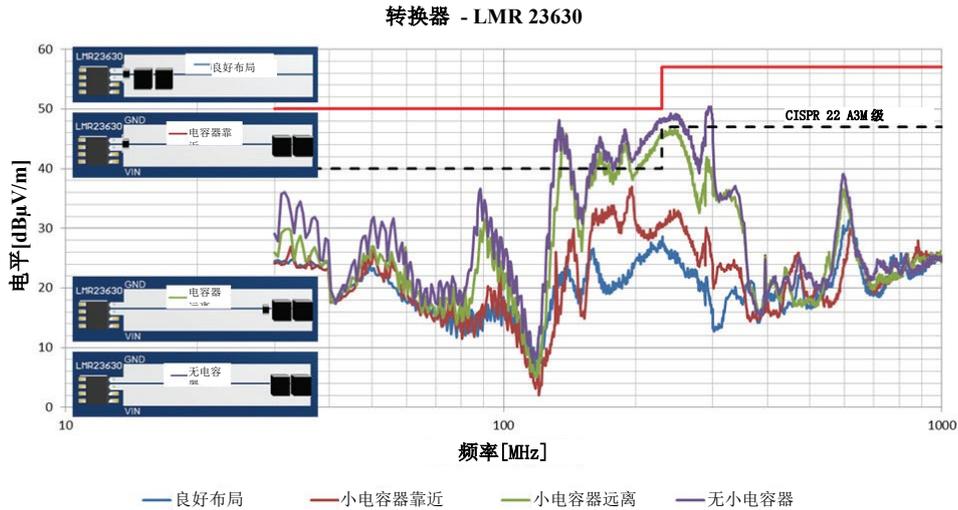


图 11. 具有不同输入电容布局的 LMR23630 转换器的辐射 EMI。



图 12. TI LMZM33603 电源模块的辐射 EMI 性能

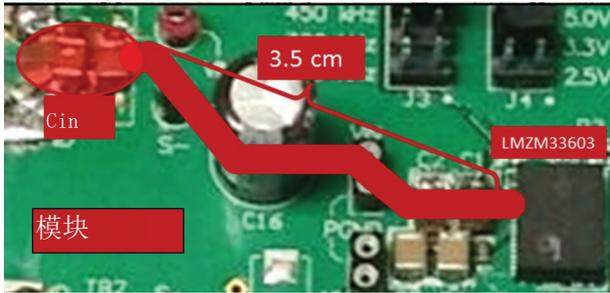


图 13. TI LMZM33603 电源模块的不良布局示例。

电源模块可以免除布局设计错误

图 14 在单个图表中对 LMR23630 转换器（红线）和 LMZM33603 电源模块（蓝线）做出了对比。两者均有类似的不良布局，所有外部输入电容器都远离输入引脚。

显然，LMZM33603 电源模块的辐射 EMI 性能要优于 LMR23630 转换器。尽管两种布局均不完美，但电源模块会通过 CISPR 测试，而转换器无法通过测试。

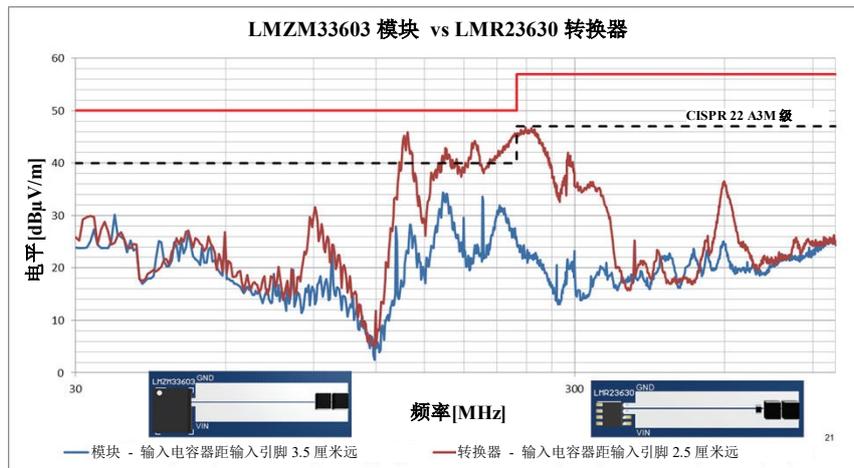


图 14. 比较 TI LMR23630 转换器和 LMZM33603 电源模块的 EMI 性能。

重要须知： 此处所描述的 TI 股份有限公司及其附属公司的产品与设备是符合 TI 标准销售条款和条件的销售主体。我们建议客户在下单前先获取 TI 产品及服务的最新最全信息。TI 对应用支持、客户应用、产品设计、软件性能以及专利侵权不承担任何责任。在此对其他公司产品或服务的信息公开不构成对 TI 的批准、授权或背书。

平台标识是商标，SIMPLE SWITCHER 是德州仪器的注册商标。
所有其它商标是其各自所有者的财产

结论

正如本人之前所说，为开关电源创建良好的布局设计具有挑战性。即使是经验丰富的工程师也会轻易出错，例如输入电容器的放置位置不当。

电源模块更易减少设计布局错误。在满足 EMI 性能方面，它们是开关电源的理想选择，并且对高效利用设计时间至关重要。

如需阅读创建良好布局降低 EMI 的其他文章，本人推荐应用报告，“[DC/DC 转换器中降低 EMI 的 AN-2155 布局技巧](#)”和“[AN-643 EMI/RFI 电路板设计](#)”。

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性 & 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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用 TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及 TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它 TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对 TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受 TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及 [ti.com.cn](http://www.ti.com.cn) 上或随附 TI 产品提供的其他可适用条款的约束。TI 提供所述资源并不扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2018 德州仪器半导体技术（上海）有限公司