

通过节省时间和成本的创新技术降低电源中的EMI



Yogesh Ramadass

资深研究员
Kilby 电源、隔离和马达驱动设计经理
德州仪器

Ambreesh Tripathi

技术委员会成员
系统工程师-宽输入降压开关稳压器
德州仪器

Paul Curtis

模拟设计工程师
升压和多通道/相位DCDC
德州仪器

The TI POWER logo, with 'TI POWER' in a bold, sans-serif font. Below the text are four red circles of varying sizes, followed by a red horizontal bar.

TI POWER

随着电子系统变得越来越密集并且互连程度越来越高，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。

内容概览

本白皮书分析了开关模式电源中的 EMI，并提供了一些可帮助设计人员快速且轻松地通过业界通用 EMI 测试的技术示例。

1 什么是 EMI?

EMI 是一种电磁能量（开关电流和电压的不良副产物），它来自多种物理现象，可在严格的 EMI 测试中表现出来。

2 降低 EMI 的常规方法

降低 EMI 是一项需要进行各种权衡的棘手工作。降低 EMI 的常规方法包括使用大型且昂贵的滤波器或降低开关压摆率，该技术会直接影响效率。

3 降低 EMI 的创新技术

为了实现开关模式电源的所有优势，EMI 降低技术对于平衡传统的权衡要素而言至关重要。这需要采用适用于低频和高频 EMI 的创新解决方案以及精确的建模技术。

鉴于 EMI 可能在后期严重阻碍设计进度，浪费大量时间和资金，因此必须在设计之初就考虑 EMI 问题。

开关模式电源 (SMPS) 是现代技术中普遍使用的电路之一，在大多数应用中，该电路可提供比线性稳压器更大的效率。但这种效率提高是有代价的，因为 SMPS 中功率金属氧化物半导体场效应晶体管 (MOSFET) 的开关会产生大量 EMI，进而影响电路可靠性。EMI 主要来自不连续的输入电流、开关节点上的快速压摆率以及由电源环路中寄生电感引起的开关边沿额外振铃。

下页图 1 以降压器拓扑为例，说明了不同频带下各个因素的影响。随着设计压力不断提升，通过提高开关频率来降低尺寸和成本，以及通过增大压摆率来提高效率，使 EMI 问题变得更加严重。因此，有必要采用不影响电源设计、同时具有成本效益且易于集成的 EMI 缓解技术。

什么是 EMI?

在要求电磁兼容性 (EMC) 的系统中，设计时应降低干扰源组件的干扰性和易受干扰的组件的敏感性。当终端设备制造商集成来自不同供应商的组件时，确保具有干扰性的组件和易受干扰的电路能够互不影响的唯一方法是建立一套共同的规则，其中，具有干扰性的组件的干扰性被限制在一定范围之内，使得易受干扰的电路能够在此范围内降低影响。

这些规则是根据业界通用规范（如适用于汽车行业的国际无线电干扰特别委员会 (CISPR) 25 和适用于多媒体设备的 CISPR 32）建立的。CISPR 标准决定了任何 EMI 缓解技术的最终性能，因此对于 EMI 设计至关重要。由于 SMPS 是典型的电磁干扰源，因此本白皮书的重点是讨论如何减少此类干扰。如需获取 EMI 标准的完整列表，请参阅白皮书 [《电源](#)

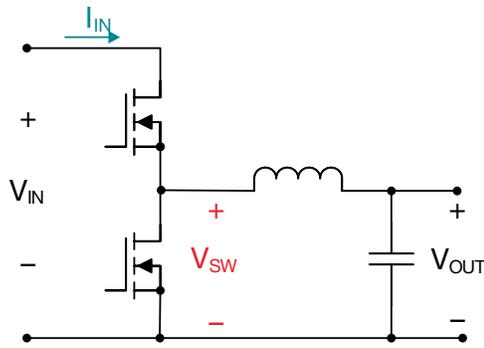


图 1. SMPS 中的 EMI 源示例。

的传导 EMI 规格概述》和《电源的辐射 EMI 规格概述》。

除了解给定应用的相应标准之外，了解如何测量 EMI 也很重要，这将帮助您深入了解如何降低 EMI。EMI 测量通常分为传导 EMI 测量和辐射 EMI 测量，顾名思义，这同时说明了 EMI 的测量方法和产生机理。尽管传导发射通常与较低的频率 (<30MHz) 相关，辐射发射通常与较高的频率 (>30MHz) 相关，但这两者之间的区别并不是那么简单，因为传导频率范围和辐射频率范围有所重叠。

传导发射测量旨在量化从器件产生并返回到其电源的 EMI。对于许多应用而言，降低这些发射至关重要，因为同一电源线通常都连接着许多其他敏感电路。在现代汽车中，长线束的数量不断增加，因此降低长线束的传导 EMI 尤为重要。

图 2 显示了用于传导发射的通用测试设置，包括电源、线路阻抗稳定网络 (LISN)、EMI 接收器、电

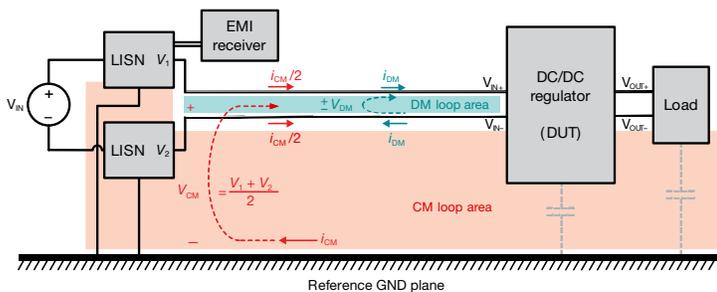
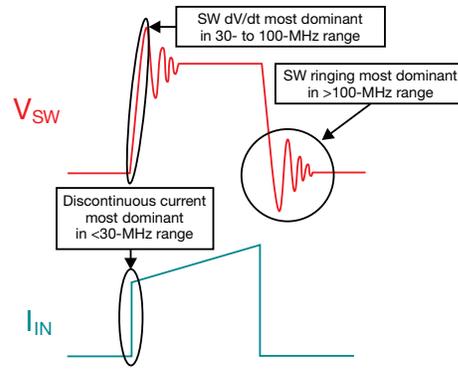


图 2. 用于传导发射测量的通用测试设置，其中 DM 和 CM 环路分别以青色和红色突出显示。



源线和被测器件 (DUT)。LISN 扮演着关键角色，可充当低通滤波器，确保 EMI 测量的可重复性和可比性，并为 DUT 提供精确的阻抗。图 2 还说明了将传导发射细分为共模 (CM) 电流和差模 (DM) 电流。DM 电流在电源线与其返回路径之间流动，是较低频率范围内的主要因素。CM 电流在每条电源线与接地之间流动，是较高频率范围内的主要因素。

辐射 EMI 测量的设置与传导 EMI 测量类似，主要区别在于前者的 EMI 接收器不是直接连接到 LISN，而是连接到附近的天线。SMPS 中的辐射能量来自产生磁场的快速瞬态电流环路以及产生电场的快速瞬态电压表面。由于产生辐射磁场的电流环路也产生 DM 传导发射，并且产生辐射电场的电压表面也产生 CM 传导发射，因此许多 EMI 缓解技术都可以降低传导发射和辐射发射，但可能专门针对其中一项。

通常，通过大型无源滤波器来缓解较低频率的发射，会增加解决方案的电路板面积和成本。高频发射在测量、建模和缓解方面面临着不同的挑战，这主要是其寄生性质导致的。常见的高频发射缓解技术包括控制压摆率和减小寄生效应。图 3 总结了本白皮书中包含的缓解技术、这些技术适用的频带以及 CISPR 25 标准中的频率范围示例。

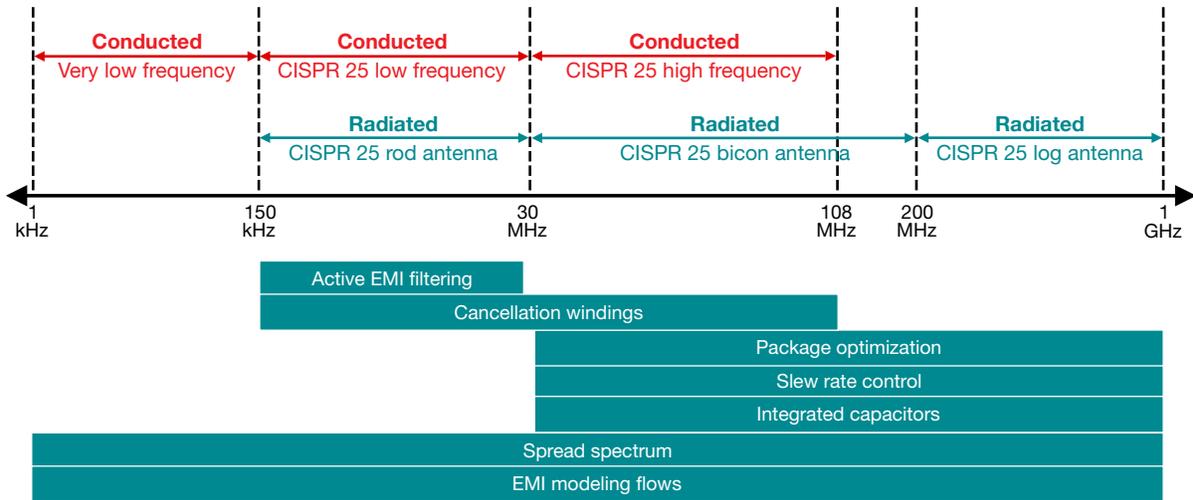


图 3.本白皮书中介绍的 EMI 缓解技术汇总。

降低 EMI 的常规方法（面向低频和高频范围）

当其他系统共享公共物理触点时，由 SMPS 中不连续电流产生的输入电压纹波可能会传导到这些系统中。如果没有适当的缓解措施，那么过大的输入或输出电压纹波可能会影响电源、负载或相邻系统的运行。过去，您可以使用基于无源电感电容器 (LC) 的 EMI 滤波器来显著减小输入纹波，如图 4 所示。LC 滤波器可提供满足 EMI 规格所必需的衰减。代价是会使系统的尺寸和成本增大（具体取决于所需的衰减），这将降低总功率密度。此外，用于输入 EMI 滤波器设计的大型电感器会因其自谐振频率较低而在高于 30MHz 的频率范围内无法衰减，从而需要铁氧体磁珠等附加组件处理高频衰减。

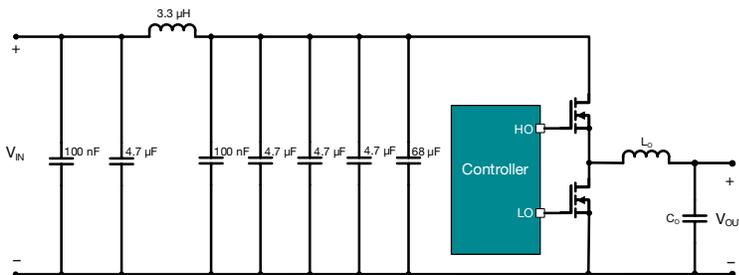
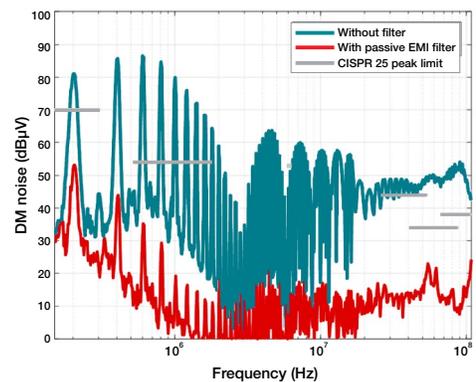


图 4.典型的用于降低 EMI、基于 LC 的无源滤波器，以及实现的衰减。

缓解 EMI 的另一种传统方法是使用扩频（或时钟抖动）来调制 SMPS 的开关频率，这将降低与基本开关频率及其谐波相关的频谱峰值，但代价是使本底噪声增大，如图 5 所示。

扩频是一项有吸引力的技术，因为它易于实现并且您可以将其与其他 EMI 降低方法结合使用。但该技术不是万灵药，因为它只能相对降低现有的 EMI，并且根据其特性，其性能会在开关频率较低时降低。此外，您通常只能将扩频应用于单个频带，原因将在下一节中说明。

为了更大程度地减小滤波电感器的尺寸，您可以为 SMPS 设计选择更高的开关频率。不过，对于切换器操作，需避免使用敏感频带。例如，以前汽车电源解决方案的推荐开关频率一直处于 AM 以下频带（约 400kHz）。通过选择较高的开关频率来显



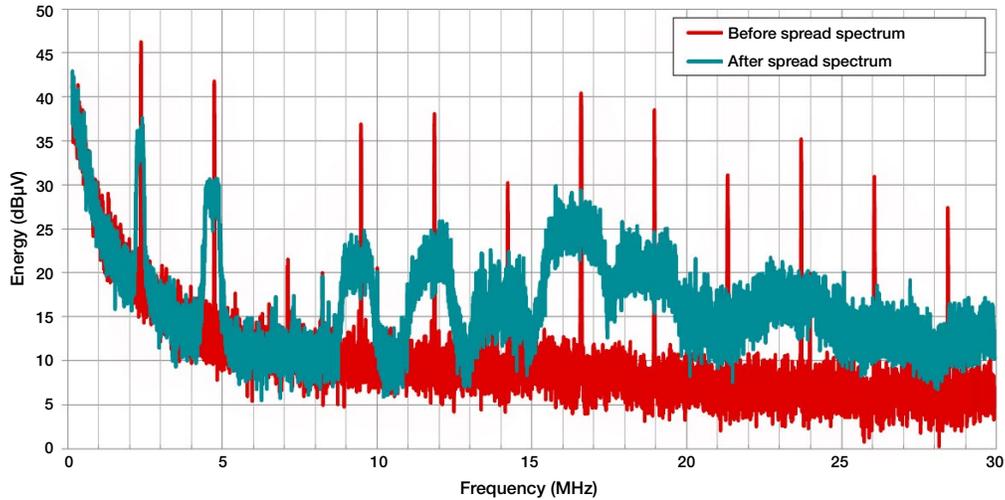


图 5.采用扩频技术和未采用扩频技术的 SMPS 频谱示例。

著减小电感器尺寸，意味着您必须避开整个 AM 频带（525kHz 至 1,705kHz），从而在更严格的汽车 EMI 频带上不会产生基本的开关杂散。

德州仪器 (TI) 开关转换器的开关频率高于 1.8MHz，可以满足 EMI 频带的要求。为降低开关损耗而提高开关频率的措施对开关转换上升和下降时间的要求更为严格。不过，具有很短上升和下降时间的开关节点即使在接近第 100 次谐波的高频率下，也能保持较高的能量（如图 6 所示），这再次突出了高效率与低 EMI 之间的权衡。

由于直流/直流转换器的电源路径中存在寄生电感，因此高压摆率还会导致高频率开关节点振铃，这进一步增加了振铃频率及更高频率下的发射。下页

图 7 显示了压摆率和开关节点相关振铃如何影响发射。限制由开关转换引起的 EMI 发射的传统方法是，通过在开关器件的栅极驱动路径中特意添加电阻来降低 EMI 发射的速度。这导致转换发生得更慢，从而使发射更快地滚降，并且使发射在振铃频率下降低 8 至 10dB。不过，这种开关边沿的减慢会导致开关转换器的峰值电流效率降低 2% 至 3%。

降低低频发射的创新技术

让我们来看看 TI 在构建其转换器和控制器时使用的几种技术，这些技术可在效率、EMI、尺寸和成本之间实现基本平衡。

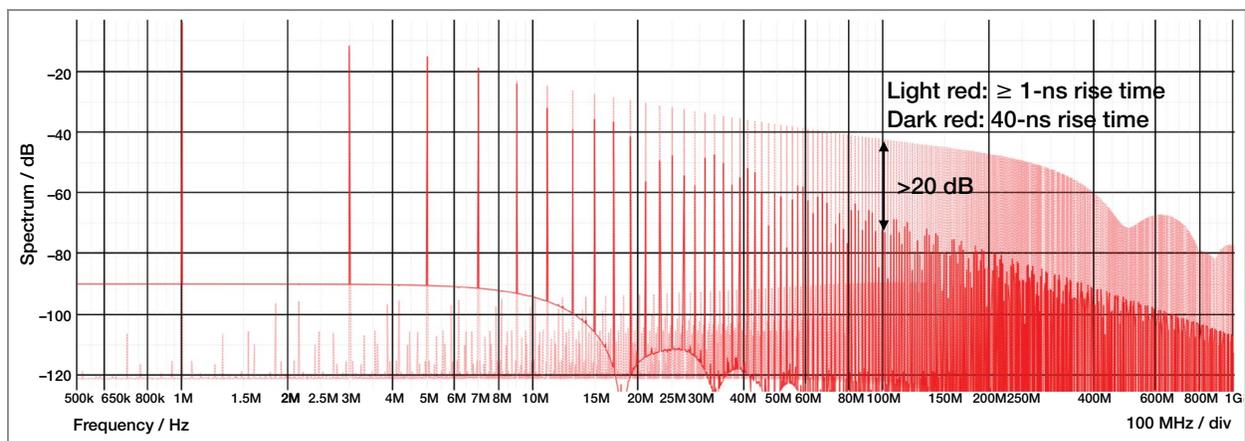


图 6.具有不同上升时间的方波的 EMI 图。

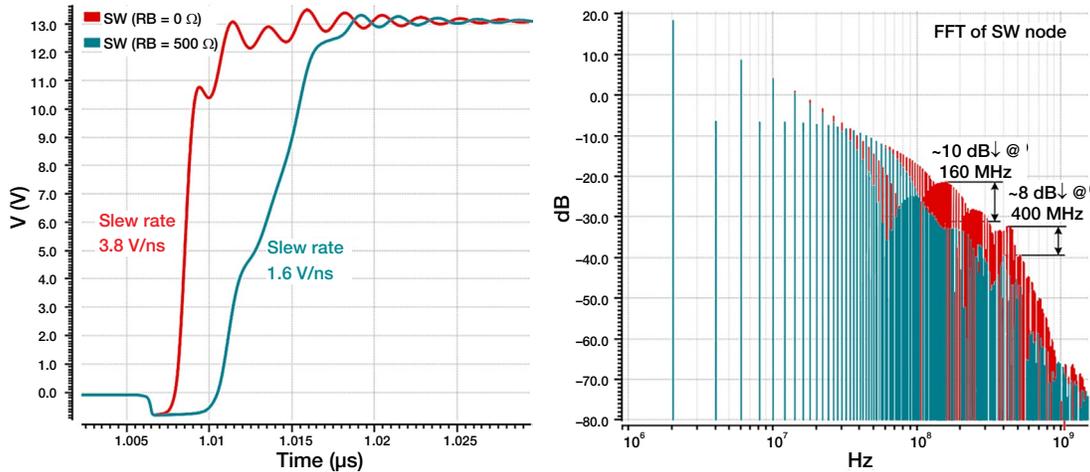


图 7.不同的开关节点压摆率和相关的振铃对高频发射的影响。更低的压摆率会影响 30MHz 至 200MHz 频带的 EMI 滚降，而更低的振铃会在约 400MHz 的振铃频率下影响 EMI。

扩频

扩频技术利用能量守恒原理，通过将能量分散在多个频率上来减小 EMI 峰值。然而，敏感电路“面临”的峰值能量可能不会降低；它取决于敏感电路带宽和频率调制方式之间的关系。测量 EMI 时，频谱分析器属于敏感电路，而工业标准规定了分辨率带宽 (RBW)。因此，以更有效的方式根据实际标准调制频率非常重要。一般的经验是，使调制频率 f_m 约等于目标 RBW，扩展带宽 Δf_c 约为 $\pm 5\%$ 至 $\pm 10\%$ 。图 8 在时域和频域中说明了这些参数。

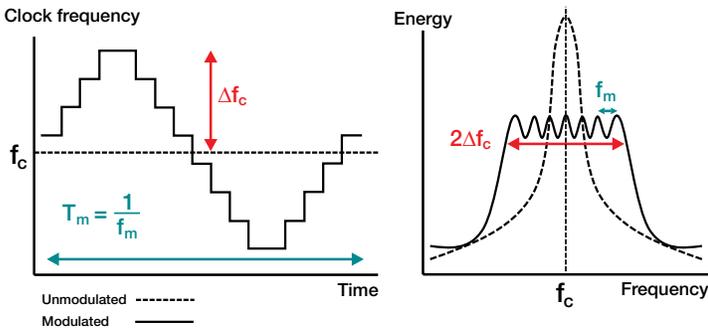


图 8.时域和频域中的扩频参数 f_m 和 Δf_c 。

CISPR 25 等标准中通常将 f_m 设置在 9kHz 左右以优化低频频带，这也恰好在可闻范围内。为了解决该问题，您可以通过假随机方式进一步实施三角调制，从而传播可闻能量，同时不会对传导和辐射 EMI 性能造成重大影响。下页图 9 在时域和频域

中说明了该调制曲线，这是同步降压/升压转换器 [TPS55165-Q1](#) 的一个特性。

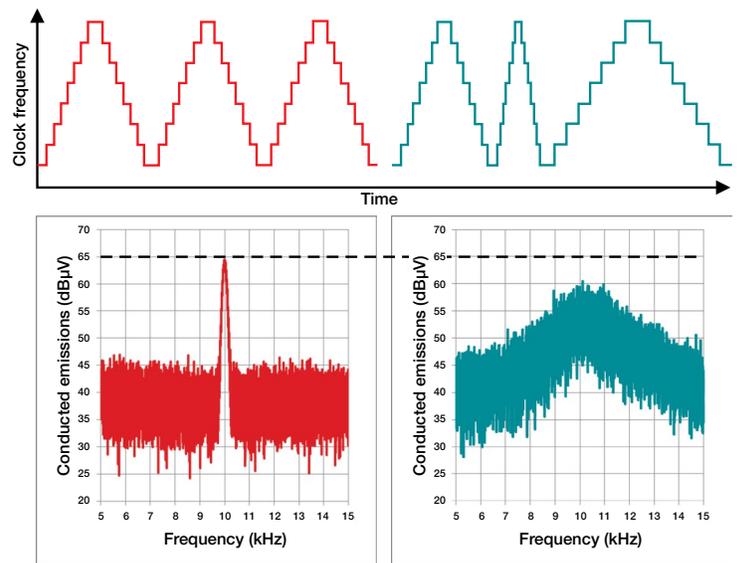


图 9.在每个调制周期结束时，通过假随机地调制三角波来降低可闻噪声。

EMI 不限于单个频带（因此不限于单个 RBW），而是存在于多个频带中，这就带来一个困境，因为扩频通常只针对单个频带进行改善。一种称为双随机扩频 (DRSS) 的数字扩频技术为这个问题带来了新的解决方案。DRSS 的基本原理是叠加两条调制曲线，每条曲线针对不同的 RBW。有关更多信息，

请参阅应用报告《[EMI 降低技术，双随机扩频](#)》。图 10 显示了时域中的 DRSS 调制曲线，其中的三角形包络针对较低的 RBW，而叠加的假随机序列针对较高的 RBW。

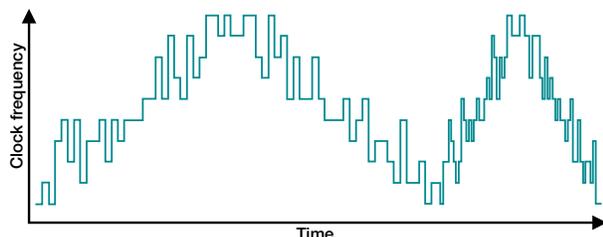


图 10. DRSS 的时域调制曲线。

图 11 显示了非同步升压控制器 [LM5156-Q1](#)（采用 DRSS 和不采用 DRSS）的传导发射性能。您可以看到 150kHz 至 30MHz 频带以及 30MHz 至 108MHz 频带（这是 CISPR 25 汽车标准的两个关键频带）中的频谱峰值都大大降低了。[LM5157-Q1](#) 非同步升压转换器也采用了 DRSS 并实现了相似的性能。

扩频技术适用于非隔离式和隔离式拓扑，因为两者的 EMI 源相似，扩频可提供相同的优势。具有集成变压器的 [UCC12040](#) 和 [UCC12050](#) 隔离式直流/直

流转换器能够满足 CISPR 32 B 类 EMI 测试限制要求，部分原因是采用了内部扩频技术。

有源 EMI 滤波

为了显著改善低频频谱中的发射，[LM25149-Q1](#) 降压控制器采用了有源 EMI 滤波方法。集成有源 EMI 滤波器通过充当有效的低阻抗分流器，可降低输入端的 DM 传导发射。图 12 显示了降压控制器的有源 EMI 滤波器如何连接到输入线。感应和注入引脚通过各自的电容器连接到输入端。有源 EMI 滤波器块中的有源元件会放大感应到的信号，并通过注入电容器注入适当的反极性信号来显著降低输入

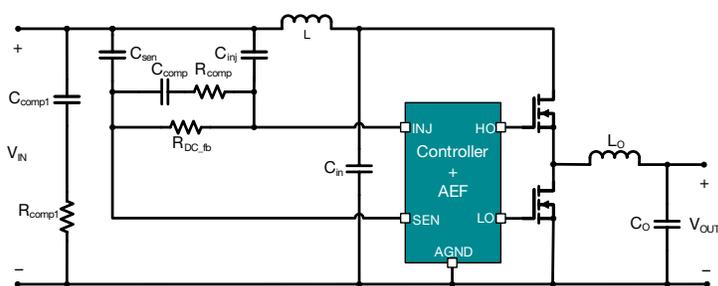


图 12. 有源 EMI 滤波器，其中显示了感应和注入电容器以及用于补偿的组件。

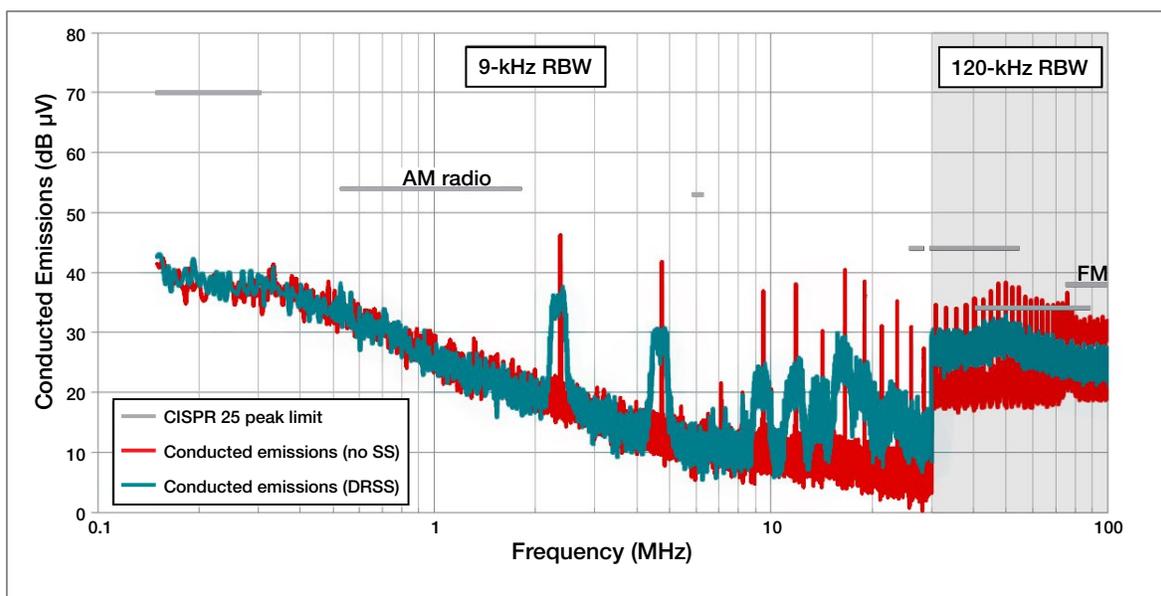


图 11. [LM5156-Q1](#) 升压控制器采用扩频技术前后的 EMI 性能，其中使用的不是专为降低 EMI 而设计的印刷电路板 (PCB)。

线上的总体干扰。这减轻了所需无源元件的过滤负担，从而减小了这些元件的尺寸、体积和成本。

图 13 显示了在 400kHz 开关频率下工作的降压转换器的 EMI 测量结果，其中比较了有源和无源 EMI 滤波方法。为了有效满足 CISPR 25 5 类频谱屏蔽要求，无源 EMI 滤波器需要一个 3.3 μ H DM 电感器和一个 10 μ F DM 电容器。有源滤波方法通过一个仅 1 μ H 的 DM 电感器以及 100nF 的感应和注入电容器，可实现同样有效的衰减。这有助于将无源滤波器的尺寸和体积分别减小到原始值的 43% 和 27% 左右。对于大电流转换器，可以通过降低电感器直流电阻来进一步降低成本和提高效率。

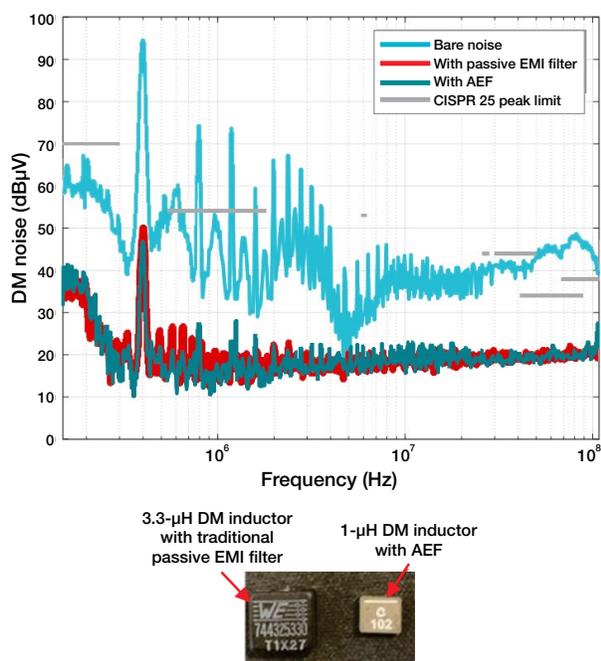


图 13 针对 12V 输入、5V/5A 输出降压转换器使用无源和有源滤波所实现的 EMI 衰减，并比较了这两种方法中的滤波用无源电感器。

消除绕组

与非隔离式转换器不同，跨越隔离边界的额外发射路径是导致隔离式转换器共模 (CM) EMI 的主要原因。下页图 14 显示标准反激式转换器中的隔离变压器存在寄生电容。CM 电流可通过与每个开关节点关联的寄生电容从初级侧直接流入大地。CM 电流还由于绕组之间的寄生电容而从初级侧流至次级

侧，从而导致测量的 CM EMI 增大。通常，您可以通过在输入电源路径中使用较大的 CM 扼流圈来降低这种额外的干扰。

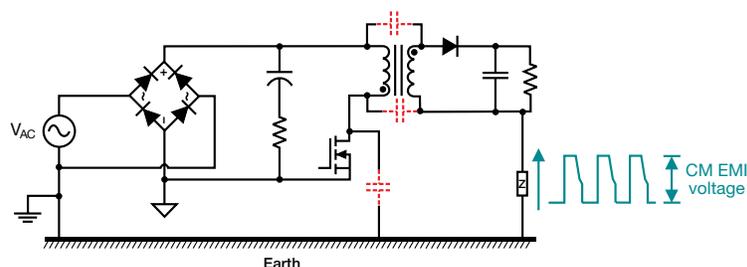


图 14 在反激式转换器中产生寄生效应的 CM EMI。

为了帮助更大程度地减小无源滤波器件的尺寸，用于高功率密度 5V 至 20V 交流/直流适配器且采用硅 FET 的 65W 有源钳位反激式参考设计针对隔离式转换器采用了消除绕组和屏蔽的方法。如图 15 所示，一种经改进的内部变压器结构在内部初级层和次级层之间插入了一个额外的辅助绕组层（以黑色显示），以实现 CM 平衡。辅助 CM 平衡层屏蔽了内部的半初级层与次级层之间的界面，有助于生成消除 CM 电压，以消除来自外部半初级层的 CM 注入。通过均衡从辅助绕组和初级外层到次级层的寄生电容，可帮助消除从外部半初级层注入到次级层的 CM 电流（通过从消除层注入反相 CM 电流）。净效应（流入次级层的 CM 电流几乎为零）降低了 CM 发射，从而使用超少的 CM 滤波器件即可让设计满足 EMI 频谱标准要求。

降低高频发射的创新技术

到目前为止，我们介绍的 EMI 缓解技术通常可以减低低频发射 (<30MHz)，同时相应地减少了所需的无源滤波量，以及相关的尺寸、体积和成本。现在，让我们来看看旨在缓解高频发射 (>30MHz) 的技术。

HotRod™ 封装

降低高频发射的主要方法之一是更大程度地减小电源环路电感。TI 提供的 [LM53635-Q1](#)、[LMS3655-Q1](#)、[LM61495-Q1](#)、[LMR33630-Q1](#) 和 [LM61460-Q1](#) 等降压转换器从键合线封装改用基于

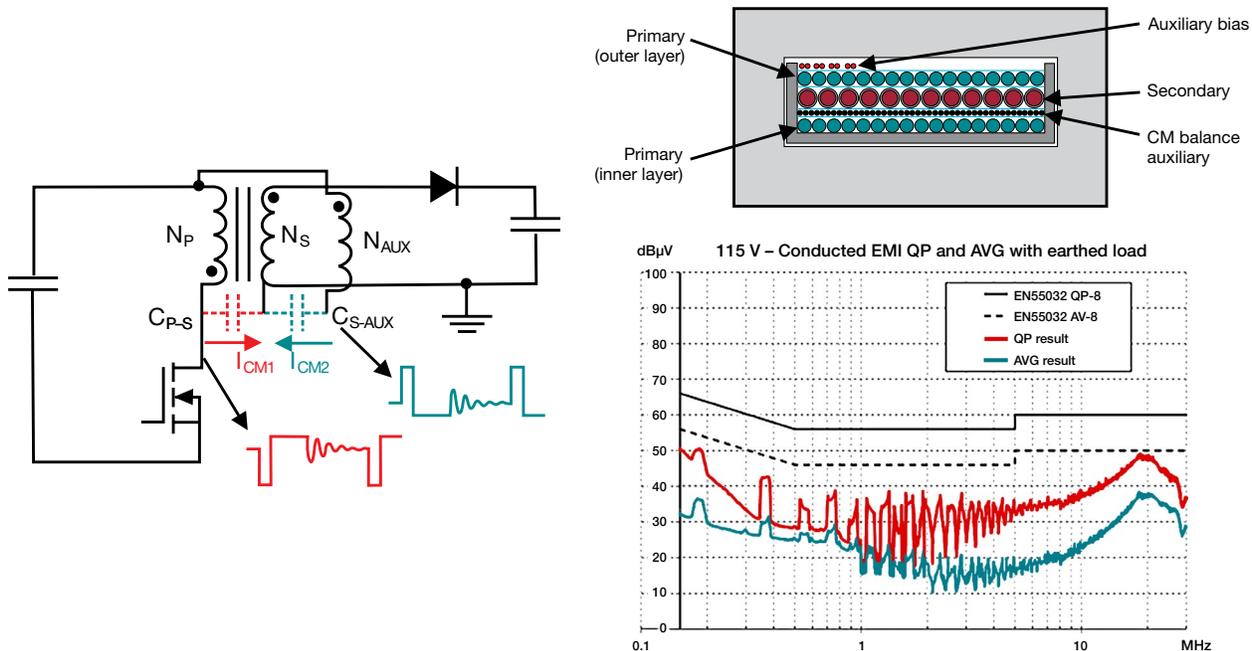


图 15.使用屏蔽和消除绕组来降低反激式转换器中的 EMI。

引线框的倒装芯片 (HotRod) 封装, 有助于降低电源环路电感, 进而降低开关节点振铃。

HotRod 封装翻转硅片并将其直接放置在引线框上, 从而更大程度地减小由运行开关电流的引脚上的键合线引起的寄生电感。图 16 显示了 HotRod 封装的结构和优势。除改善电源环路电感之外, HotRod 式封装还有助于降低电源路径中的电阻, 从而提高效率并减小解决方案尺寸。

采用 HotRod 封装器件的另一项优势是, 这些器件易于实现并行输入路径引脚排列 (直流/直流转换器输入电容器的布局布置)。通过优化直流/直流转换器的引脚排列使输入电容器的布局对称, 输入电源环路产生的反向磁场就会处于对称环路中, 从而更大程度地降低对附近系统的发射。并行输入路径可进一步降低高频 EMI, 尤其是在更严格的 FM 频带中, 如下页图 17 所示。

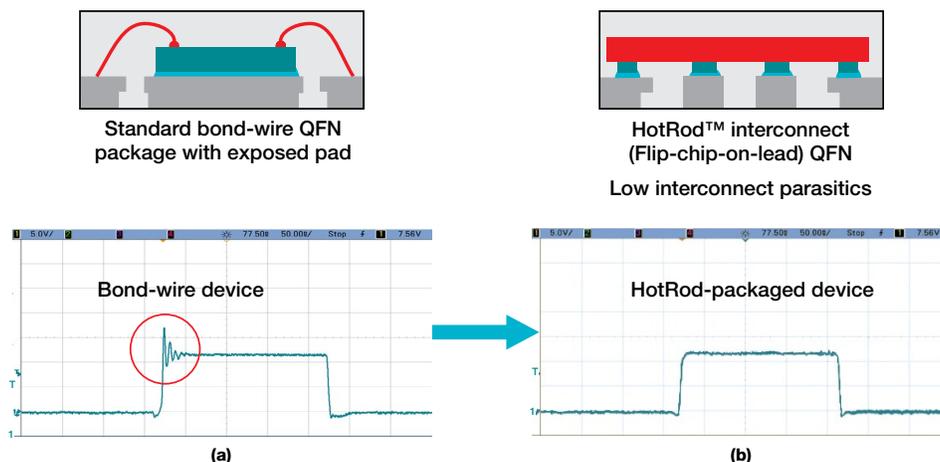


图 16.标准 QFN, 带接合线, 可电气连接至裸片 (a); HotRod 封装, 引线框和裸片之间带有铜柱和倒装芯片互连 (b)。

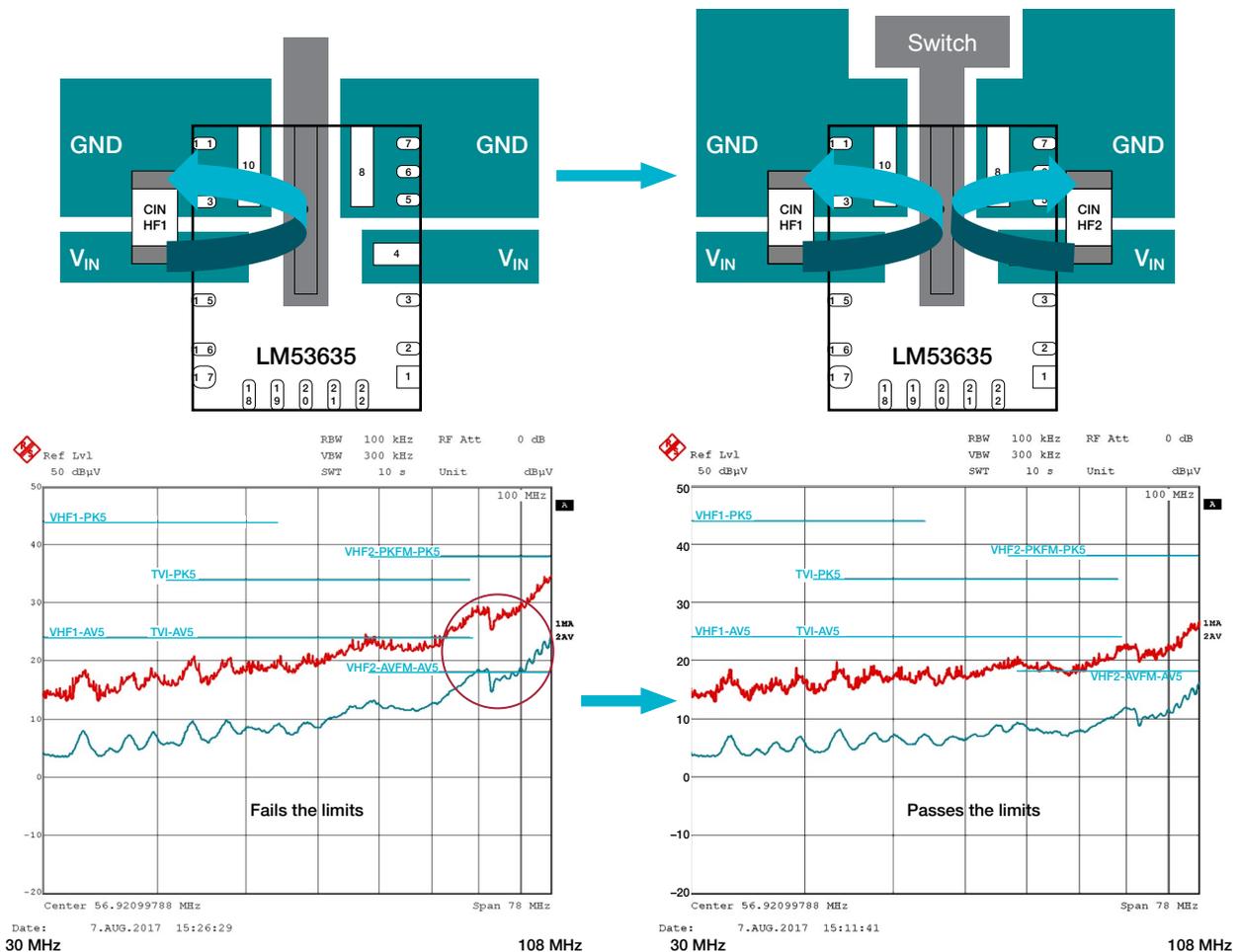


图 17. 并行输入路径对 SMPS 中 EMI 的影响。

增强型 HotRod™ QFN

增强型 HotRod 四方扁平无引线 (QFN) 封装可提供 HotRod 封装的所有 EMI 降低功能，并且具有开关节点电容更低的额外优势，从而更大程度降低了振铃。与 HotRod 封装相比，在采用增强型 HotRod QFN 封装的器件中，输入电压 (V_{IN}) 和接地 (GND) 引脚上的寄生电阻器-电感器-电容器 (RLC) 值也更低。

LM60440-Q1 降压转换器采用了增强型 HotRod QFN 封装，下页图 18 显示了其引脚排列和电路板布局布线。增强型 HotRod QFN 封装不仅提高了效率，而且其封装中心具有一个大型的裸片附接焊盘 (DAP)。与 HotRod 封装相比，DAP 有助于改善 PCB 散热，并将结温的上升降低 15% 以上。此

外， V_{IN} 、GND 和开关节点引脚上较低的 RLC 寄生效应还可以提高效率并降低 EMI。如预期的那样，这会产生更低的 EMI，尤其是在开关节点振铃频带附近，如下页图 19 所示。

集成式输入旁路电容器

如前所述，由于更高的开关节点振铃，较大的输入电源环路会导致在高频频带上产生更高的发射。在器件封装内集成高频输入去耦电容器有助于更大程度地降低输入环路寄生效应，从而降低 EMI。降压转换器 **LMQ62440-Q1** 中采用了该技术，如下页图 20 所示。除了减小输入电源环路电感之外，输入高频电容器的封装集成还有助于使该解决方案不易受终端系统电路板布局布线变化的影响。

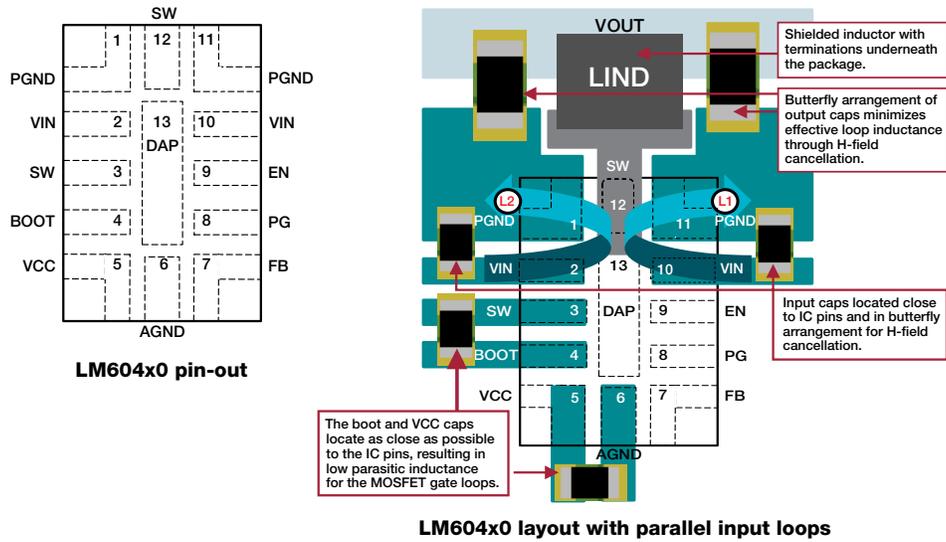


图 18. Enhanced HotRod™ QFN 封装器件中的引脚排列和 PCB 布局布线。

下页图 21 比较了 LM62440-Q1 在集成和未集成旁路电容器情况下的辐射 EMI（在相同电路板、相同条件下）。结果表明，更严格的电视频带（200 至 230MHz）中的发射降低了 9dB，这有助于系统保持在行业标准设置的 EMI 限制范围内，而无需在板上添加额外的组件。

有效的压摆率控制

尽管有上述技术，但在某些设计中，高频 EMI（60MHz 至 250MHz）可能仍会超出指定的标

准限制。缓解和提高裕度以满足行业标准要求的一种方法是，使用一个电阻器与开关转换器的自举电容器串联。使用电阻器可以降低开关边沿的压摆率，从而降低 EMI，但也会降低效率。

LM61440-Q1 和 LM62440-Q1 等开关转换器可以在开启期间使用电阻器来选择高侧 FET 驱动器的强度。如下页图 22 所示，通过 RBOOT 引脚（青色虚线环路）消耗的电流成倍增加并通过 CBOOT（红色虚线）消耗，以开启高侧功率 MOSFET。

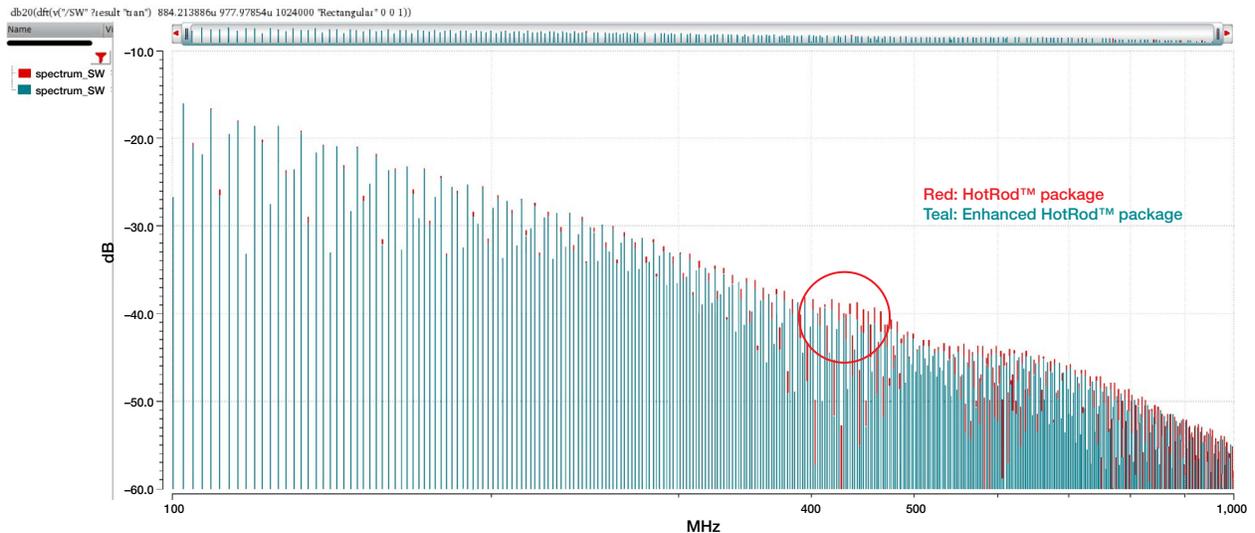


图 19. HotRod 封装器件与 Enhanced HotRod 封装器件的 SW 节点 FFT 对比。

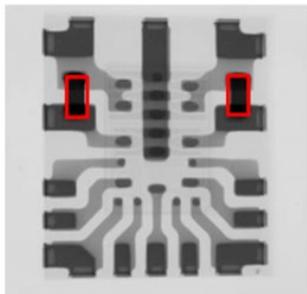


图 20. LMQ62440-Q1 器件中集成的两个高频输入旁路电容器。

这样，该电阻器就可以控制压摆率，但不会遭受串联启动电阻器消耗大部分电流时发生的效率损失。RBOOT 与 CBOOT 发生短路时，上升时间很短；直到高于 150MHz 时，开关节点谐波才会滚降。如果 CBOOT 和 RBOOT 通过 700Ω 的电阻器保持连接，则在将 13.5V 转换为 5V 时，转换时间增加到 10ns。该较长的上升时间使开关节点谐波中的能量在大多数情况下都能在 50MHz 附近滚降。

EMI 建模功能

对任何电路进行建模是早期评估设计性能的重要方法，因此在缩短设计周期中起着至关重要的作用。EMI 建模是一个复杂的过程，涉及 PCB 的时域电路分析和频域电磁仿真。对 EMI 发射进行建模可

以减少设计迭代次数，从而能够更轻松、更快速地满足 EMI 标准限制要求。

让我们来看看您在进行 EMI 建模时可以使用的一些选项。

采用 WEBENCH® 设计工具的低频 EMI 设计

WEBENCH 输入滤波器设计工具可帮助您自动设计合适的输入滤波器，以缓解低频 (<30MHz) 传导 EMI 噪声，从而满足 CISPR 32 和 CISPR 25 等合规性标准的要求。该工具可优化滤波器尺寸，同时确保设计符合特定标准的要求。在设计滤波器时，该工具可确保滤波器稳定性和转换器环路稳定性。该在线工具支持 100 种以上的 TI 电源器件。

不对输入 EMI 滤波器电感器进行抑制是一种常见的错误，这会对总体设计稳定性产生负面影响。WEBENCH 设计工具对输入滤波器和 SMPS 进行阻抗分析（如下页图 23 所示），并推荐合适的抑制组件以确保稳定性。

数据表中发布的传导和辐射 EMI 结果

SMPS 器件评估模块已针对更严格的工业和汽车 EMI 标准进行了测试，其结果发布在数据表中，以帮助您提前了解器件的 EMI 性能。您可以通过单查器件数据表第一页中的“针对超低 EMI 要求进行了

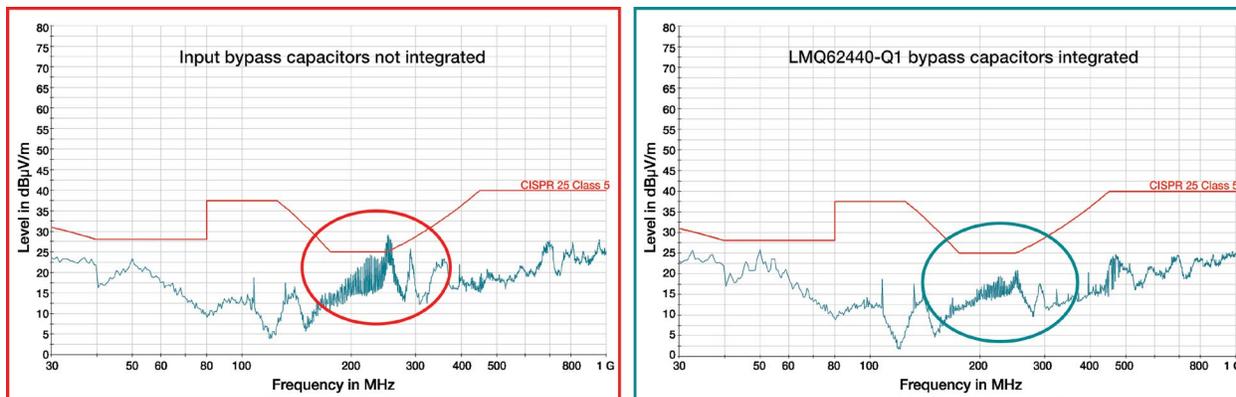
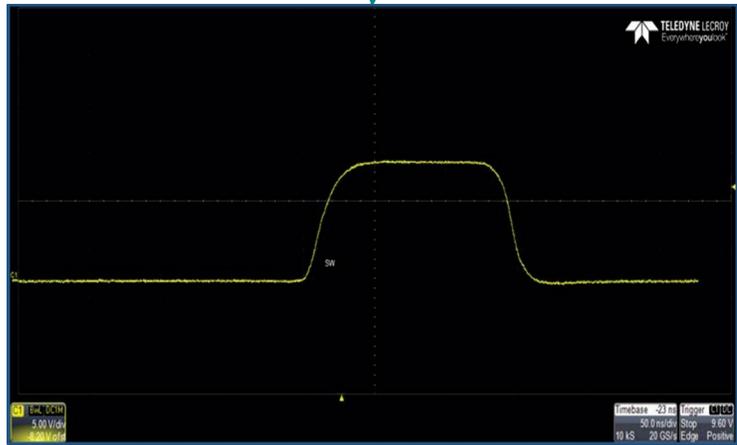
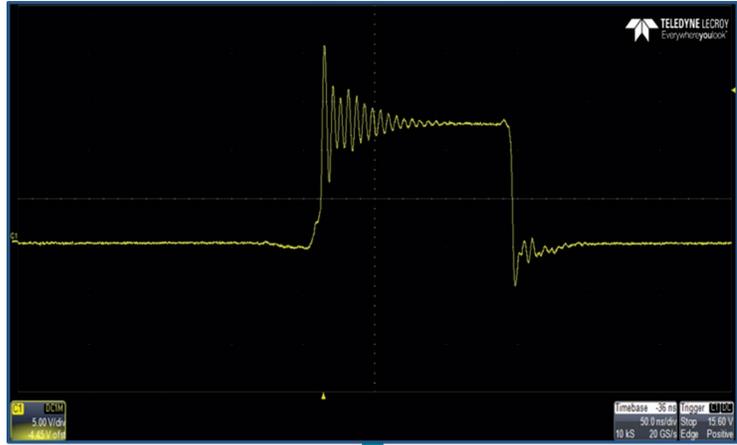
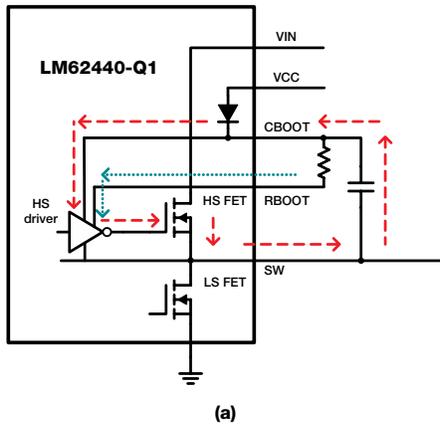


图 21. 未集成和集成旁路电容器时 LMQ62440-Q1 器件的辐射 EMI 性能。



(b)

图 22. LM62440 中的有效压摆率控制实现 (a); 采用有效压摆率控制的开关节点振铃降低 (b)。

优化” 来访问详细的 EMI 报告。[LM62440-Q1 数据表](#)中的 EMI 报告包含适用于 CISPR 25 5 类传导和辐射设置的完整数据。

此外, TI 还可以在内部执行系统级 EMI 建模和测量, 以帮助验证 EMI 性能并缩短周期。

结束语

电子产品的快速发展为电源转换器的设计带来了巨大的压力, 复杂的系统需要装入电源转换器越来越小的空间。各个敏感系统彼此靠近, 难以抑制 EMI。在设计电源转换器必须格外小心, 以符合标准机构规定的限制, 从而确保关键系统可以在充满噪声的环境中安全运行。

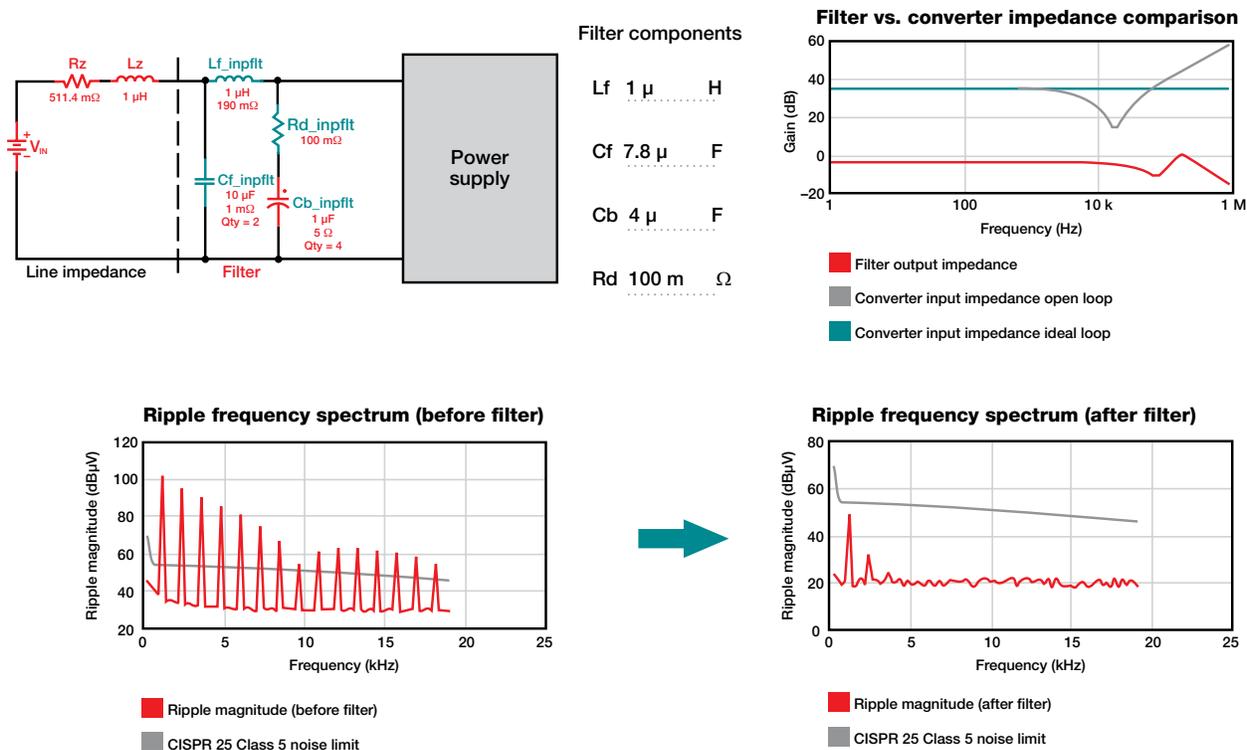


图 23.WEBENCH® 设计工具中的输入 EMI 建议和阻抗分析。

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解决方案成本。TI 提供了多种用于缓解 EMI 的功能和技术，例如扩频、有源 EMI 滤波、消除绕组、封装创新、集成输入旁路电容器和有效的压摆率控制等方法。

将技术与 TI 的 EMI 优化型电源管理器件相结合，可确保采用 TI 组件的设计能够符合行业标准要求，且无需大量返工。利用 TI 产品，您能够保持在终端设备 EMI 限制范围之内，而不会降低功率密度或效率。

请参阅 ti.com/lowemi，详细了解采用这些技术的 TI 产品，包括降压/升压和反相稳压器、隔离式偏置电源、多通道集成电路 (PMIC)、降压稳压器和升压稳压器。

低 EMI 的主要产品类别

- [降压/升压和反相稳压器](#)
- [隔离式偏置电源](#)
- [多通道 IC \(PMIC\)](#)
- [降压稳压器](#)
- [升压稳压器](#)

重要声明：本文所提及德州仪器 (TI) 及其子公司的产品和服务均依照 TI 标准销售条款和条件进行销售。TI 建议用户在下订单前查阅全面的全新产品与服务信息。TI 对应用帮助、客户应用或产品设计、软件性能或侵犯专利不承担任何责任。有关任何其他公司产品或服务的发布信息均不构成 TI 因此对其的批准、担保或认可。

HotRod 和 Enhanced HotRod 是德州仪器 (TI) 的商标，WEBENCH 是德州仪器 (TI) 的注册商标。所有其它商标均是其各自所有者的财产。

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.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 或 [ti.com.cn](https://www.ti.com.cn) 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：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 © 2021 德州仪器半导体技术（上海）有限公司