



Alejandro Iraheta

摘要

由于电磁辐射或电磁传导，降低电磁干扰 (EMI) 成为所有电子系统中的固有问题。在开关模式电源 (SMPS) 系统中，由于功率 MOSFET 的开关操作以及由此产生的不连续电流，EMI 管理是超困难的挑战之一。本应用报告将重点介绍噪声源、TI 电源模块中有助于降低噪声的有效结构，并介绍展频技术如何帮助减少 EMI 发射。

内容

1 噪声源.....	2
1.1 寄生元件.....	2
1.2 高频噪声和低频纹波.....	2
2 电源模块的有效结构.....	3
2.1 噪声降低.....	3
2.2 TPSM5601R5H 降压电源模块.....	3
3 扩频.....	4
3.1 概念.....	4
3.2 权衡因素.....	4
3.3 其他 EMI 降低技术.....	4
3.4 EMI 结果.....	4
4 总结.....	6
5 参考文献.....	7

插图清单

图 1-1. 带有寄生元件的降压转换器.....	2
图 2-1. 辐射发射 24V 输入、12V 输出、1.5A 负载.....	3
图 3-1. 展频频率调制降低 EMI.....	4
图 3-2. 传导发射.....	5
图 3-3. 使用展频时的传导发射.....	5
图 3-4. 辐射发射.....	5
图 3-5. 使用展频时的辐射发射.....	5
图 3-6. 输出纹波.....	5
图 3-7. 使用展频时的输出纹波.....	5
图 3-8. 效率.....	5

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 噪声源

提及 EMI，我们通常会想到无线干扰，但还有一种干扰是通过传导路径而非空气进行传播的。传导 EMI 是通过电缆布线、PCB 布线、寄生元件或电源和接地层生成的一种传导耦合。辐射 EMI 是无线电因导电材质元件而发出的不必要信号的耦合。每个导体都具有能够传输和接收信号的天线的特性。

1.1 寄生元件

大多数 SMPS 和噪声问题都与设计中的寄生元件有关。寄生元件不可避免。它们可以有多种形式的电阻、电感或电容。例如，一个电容器具有标称电容，但也带有不需要的等效串联电阻 (ESR) 和等效串联电感 (ESL) 的电子元件。在降压开关稳压器 (降压转换器) 中，随着高侧和低侧 MOSFET 在开关中交替，转换器输入源的噪声和高 di/dt 环路中的寄生电感会出现在开关节点上。随后，开关节点上的噪声通过与电感器、封装和 PCB 布局关联的寄生电感，耦合并分布到输出电压。

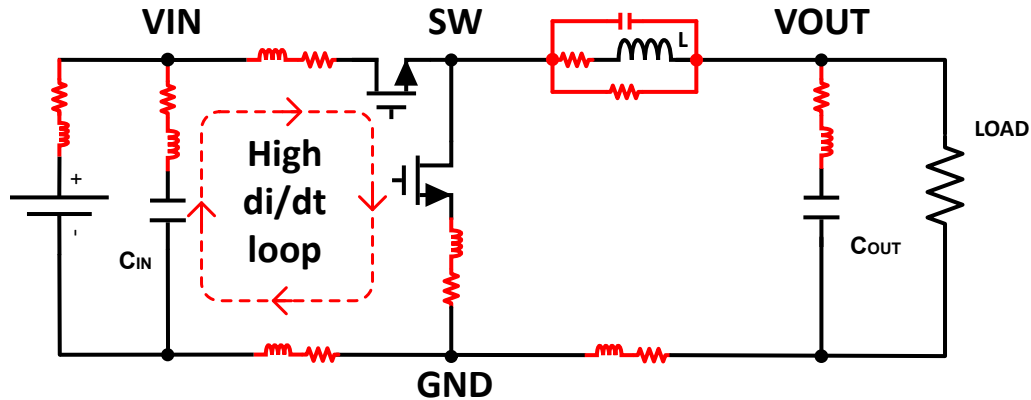


图 1-1. 带有寄生元件的降压转换器

1.2 高频噪声和低频纹波

耦合到输出电压的噪声元素为高频噪声和低频纹波。低频纹波是电感器纹波电流和输出电容阻抗的副产物。高频噪声由高 di/dt 电流及其路径中的任何电感 (输入电容器和电源开关) 生成。

2 电源模块的有效结构

直流/直流电源模块将控制器、功率 MOSFET、电感器及其他无源器件集成到单个封装中。德州仪器 (TI) 电源模块系列涵盖了隔离式和非隔离式架构以及升压、降压和反相拓扑。如需了解更多信息，请参阅 [TI 直流/直流电源模块的广泛产品组合](#)。

2.1 噪声降低

大部分电源模块都集成了高频输入电容器和屏蔽式电感器。必须注意的是，集成式输入电容器大大减少了高 di/dt 环路的面积。较小的环路面积可降低开关节点上的振铃，进而降低输出噪声。此外，由于开关节点位于封装内部并已进入减小，针对其他节点的潜在寄生电容将受到限制。电源模块虽已减小，但其中仍存在一些寄生元件。

TI 的增强型 HotRod™ QFN 封装技术可提供出色的 EMI 性能，它不使用会对电源环路 (MOSFET 栅极环路) 的寄生电感产生很大影响的键合线，并优化了器件的引脚排列以进一步降低寄生环路电感。总之，增强型 HotRod QFN 技术结合了倒装芯片引线框 (FCOL) 封装的噪声改进和标准 QFN 封装的散热优势。若要进一步了解增强型 HotRod QFN 封装技术，请参阅 [增强型 HotRod QFN 封装](#)。

2.2 TPSM5601R5H 降压电源模块

TPSM5601R5H 电源模块是一款高度集成的 1.5A 电源解决方案，它在 4.2V 到 60V 电源电压下工作，在热增强型 QFN 封装内整合了功率 MOSFET、一个屏蔽式电感器和多个无源器件。QFN 封装采用增强型 HotRod QFN 技术来实现增强的热性能、小尺寸和低 EMI。图 2-1 说明了通过 CISPR 11 B 类测试的评估模块 (EVM) 板 [TPSM601R5HEVM](#) 的辐射发射性能。此外，TPSM5601R5HS 还提供频率展频操作以进一步降低 EMI 噪声。

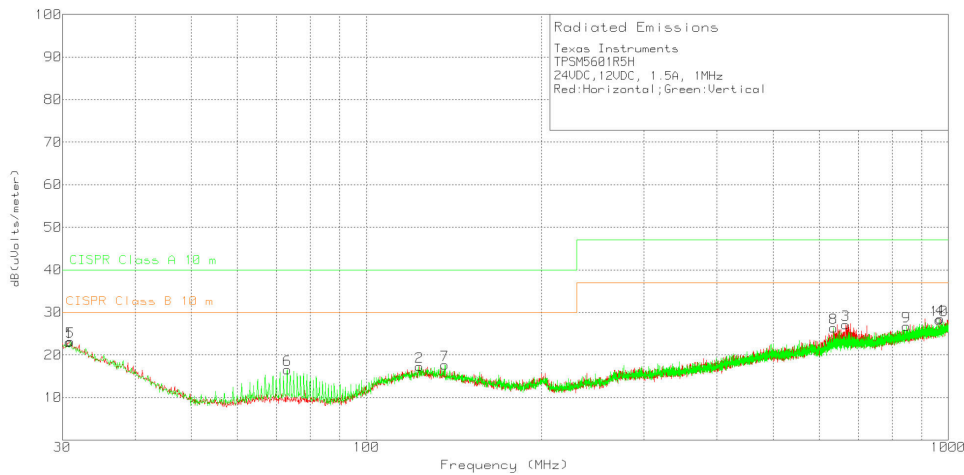


图 2-1. 辐射发射 24V 输入、12V 输出、1.5A 负载

3 扩频

展频技术（“抖动”）通常用于开关模式电源系统，以减少 SMPS 产生的 EMI 的影响。

3.1 概念

展频通过将窄带信号转换为宽带信号，以将能量分散在多个频率上，从而降低 EMI 的影响。在开关稳压器中，振荡器设置的开关频率在操作下可降低峰值能量，并分布到其他频率及其谐波。图 3-1 说明了随时间操作时钟频率如何分散开关电源生成的能量。

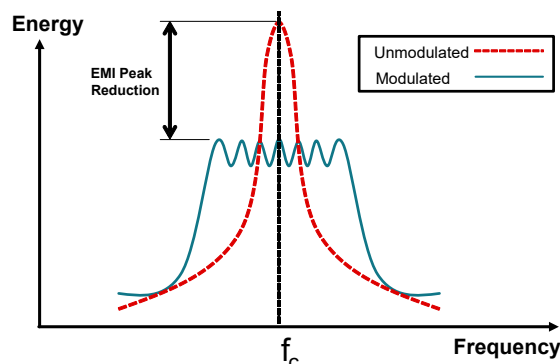


图 3-1. 展频频率调制降低 EMI

有多种方法可实现展频；也可通过不同的技术来实现，例如三角模拟抖动、假随机、自适应随机展频 (ARSS)、双随机展频 (DRSS) 及许多其他技术。其中每种技术通常在低频率或高频率下更有效。请注意，EMI 总能量没有变化，因为没有衰减。而展频技术会改变传导和辐射干扰功率谱的形状，从而降低峰值发射水平。

3.2 权衡因素

在优化展频时，最重要的因素是调制指数。调制指数越大，频谱就越分散；不过，当在开关稳压器应用中分散时，存在一些限制。调制指数是能量分散和产生的基波/谐波的因素。请注意，转换器的开关频率是电压纹波的基波频率。因此，当开关频率偏离基波频率时，会增加输出纹波、在电感器电流纹波中产生较大变化，并开始将能量分散到不需要它的频带。

3.3 其他 EMI 降低技术

除展频技术之外，还提出了很多可降低 EMI 的解决方案。一些技术可通过实施更多输入滤波器设计和 PCB 布局改进，来帮助降低 SMPS 中的 EMI 发射。有关这些技术的详细信息，请参阅[使用 LMZM23601 的 EMI 降低技术](#)。

3.4 EMI 结果

展频技术为降低平均 EMI 噪声提供了一种简单且具有成本效益的解决方案。图 3-2 到图 3-5 展示了 TPSM5601R5H 和 TPSM5601R5HS 在 24V 输入、5V 输出和 1.5A 负载下的传导和辐射 EMI 结果 (CISPR 11)。在两个器件的默认评估板上执行了发射测试。正如预期的那样，EMI 结果表明，实施展频技术降低了发射峰值，而效率和输出纹波没有影响。请注意，TPSM5601R5H 和 TPSM5601R5HS 均符合 EN55011 B 类辐射发射标准。

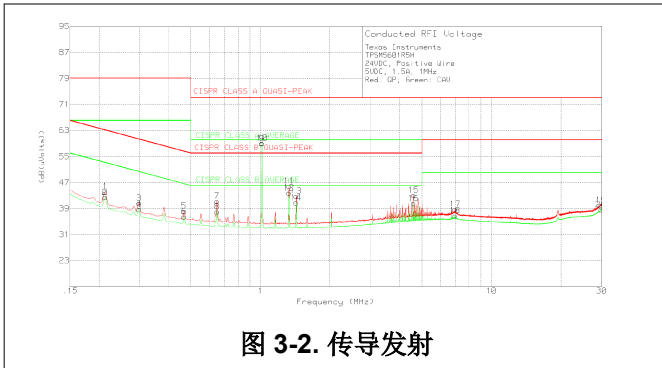


图 3-2. 传导发射

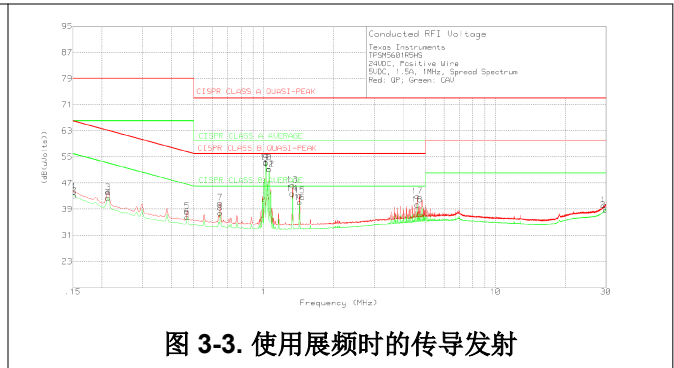


图 3-3. 使用展频时的传导发射

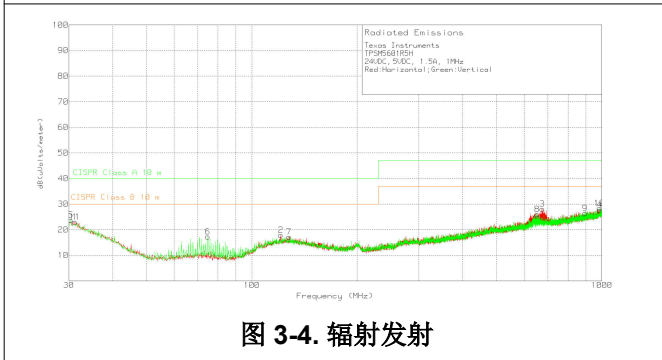


图 3-4. 辐射发射

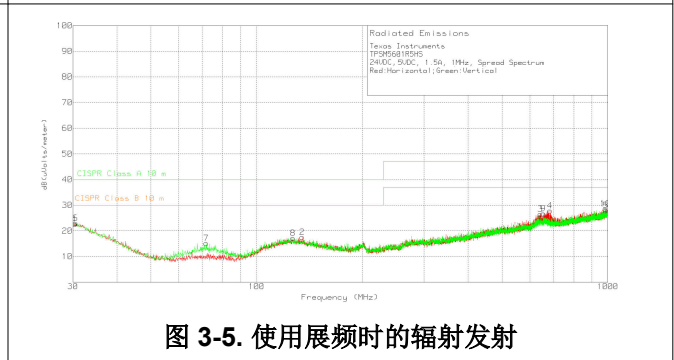


图 3-5. 使用展频时的辐射发射

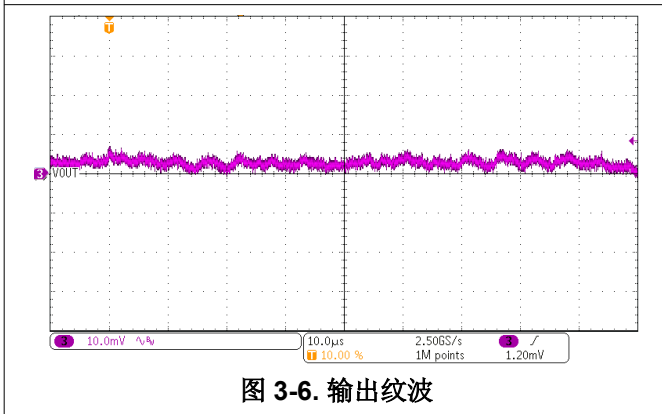


图 3-6. 输出纹波

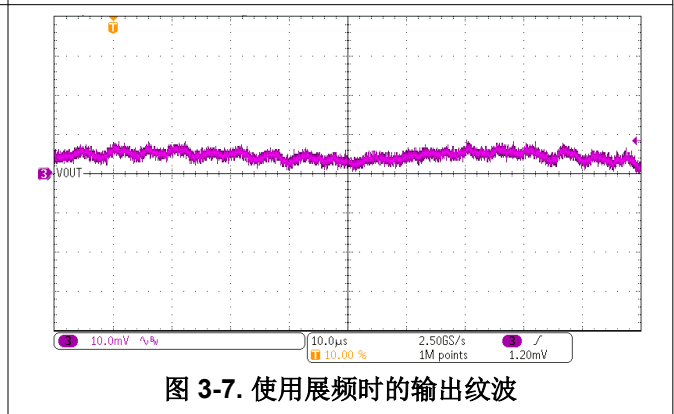


图 3-7. 使用展频时的输出纹波

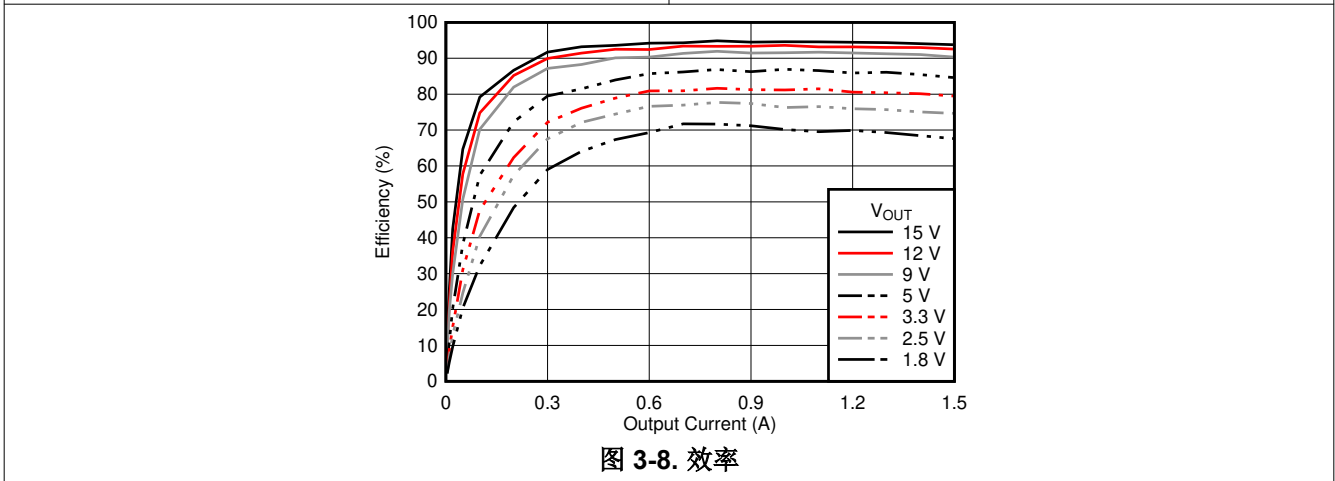


图 3-8. 效率

4 总结

EMI 可通过传导和/或辐射进入系统 (或器件)。传导 EMI 产生自开关电路这一正常操作。电源开关的开关操作会产生较大的不连续电流, 并将噪声作为低频纹波和高频噪声传递到输出。在 EMI 敏感型应用中, 需使用具有出色 EMI 性能的元素启动设计, 这非常重要。在 EMI 性能方面, 德州仪器 (TI) 的增强型 HotRod 封装技术和电源模块都是很好的解决方案。

为进一步优化 EMI 性能, 实施展频架构可减少谐波峰值并分散噪声能量, 这是一种简单且具有成本效益的解决方案。因此, 测量到的辐射和传导发射峰值将降低, 不过, 由于总噪声能量不变, 其他带宽会受到负面影响 (具体取决于应用)。

5 参考文献

- 德州仪器 (TI), 《增强型 HotRod QFN 封装: 在业界超小的 4A 转换器中实现低 EMI 性能》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《使用 LMZM23601 的 EMI 降低技术》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《EMI 降低技术, 双随机展频》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《采用 LMR14050 和 TPS65263 的汽车数字驾驶舱低传导 EMI 电源解决方案》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《直流/直流电源模块的输出噪声滤波》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《使用 TPS65033x-Q1 传递 CISPR-25 辐射和传导发射》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《通过更大限度降低电感寄生来降低降压转换器 EMI 和电压应力》模拟应用期刊。
- 德州仪器 (TI), 《LMR160X0 的传导 EMI 和辐射 EMI 的简要成功案例》应用报告。
- 德州仪器 (TI), 《了解噪声传播技术及其在开关模式电源应用中的影响》

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