

基于 TPS62933 的 CISPR-22 传导与辐射 EMI 测试

Jared Liu

FAE/Shenzhen

ABSTRACT

电磁干扰 EMI 测试是对电子产品在电磁场方面的干扰强度评定，是电子产品质量最重要的指标之一。电源芯片的 EMI 性能与芯片本身的特性，PCB layout，差模和共模滤波器的设计紧密相关。本文基于一款高效率、易于使用的同步降压转换器 TPS62933，详细介绍了如何凭借优化的芯片引脚排列实现最优 PCB layout，以及差模和共模滤波器的设计方法，从而通过 CISPR-22 传导与辐射 EMI 测试。

Contents

1	TPS62933 介绍	2
2	TPS62933 针对 EMI 性能的优化	2
	2.1 引脚排列	3
	2.2 抖频技术	4
3	传导 EMI 测试	4
4	辐射 EMI 测试	7
5	参考文献	8

Figures

Figure 1.	TPS62933 简化原理图.....	2
Figure 2.	Buck 电路的 EMI 噪声来源.....	2
Figure 3.	Buck 电路中的高 di/dt 回路.....	3
Figure 4.	TPS62933 参考 PCB layout.....	3
Figure 5.	通过“抖频”使开关频率在一定范围内变化	4
Figure 6.	CISPR-22 传导 EMI 测试结果（无滤波器）	4
Figure 7.	EMI 差模滤波器的典型电路	5
Figure 8.	LC 滤波器转折频率的选取	5
Figure 9.	2.2uH 与 22uH 电感的阻抗 vs 频率特性对比	6
Figure 10.	电解电容对谐振峰的阻尼效果	6
Figure 11.	CISPR-22 传导 EMI 测试结果（加差模滤波器）	7
Figure 12.	CISPR-22 辐射 EMI 测试结果（无共模滤波器）	7
Figure 13.	Buck 电路中的差模和共模噪声路径	8
Figure 14.	CISPR-22 辐射 EMI 测试结果（加共模滤波器）	8

1 TPS62933 介绍

TPS62933 是一款高效率、易于使用的同步降压转换器，支持 3.8V 至 30V 宽输入电压，3A 的连续输出电流、0.8V 至 22V 的输出电压和 98% 的最大占空比。该器件采用内部环路补偿的峰值电流控制模式，无需外部补偿元件即可实现快速瞬态响应。TPS62933 采用 FCOL 的 SOT583 封装，对引脚排列进行了优化，同时具有抖频功能，从而有效地减少了 EMI 噪声，有助于轻松通过 CISPR-22 传导和辐射等测试标准。

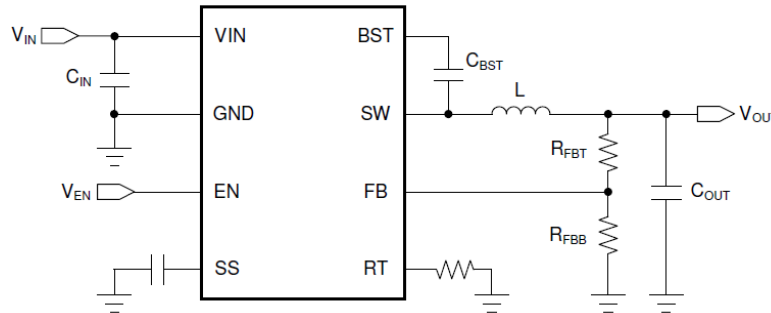


Figure 1. TPS62933 简化原理图

2 TPS62933 针对 EMI 性能的优化

开关电源的 EMI 噪声主要来自高 di/dt 的输入电流，高 dv/dt 的开关节点电压，以及由于 PCB 寄生电感引起的开关节点的振铃。图 2 为降压转换器中的主要 EMI 噪声来源。由于开关节点电压的压摆率 dv/dt 和开关损耗相关，降低压摆率尽管可以减少 EMI 噪声，但是开关损耗也会随之增加，造成整体效率降低。所以，在 buck 电路设计中，主要是针对高 di/dt 输入电流和振铃进行优化，从而降低 EMI 噪声。

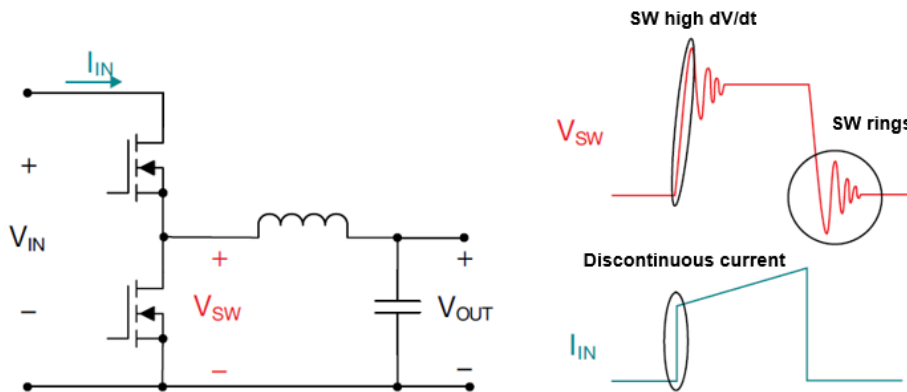


Figure 2. Buck 电路的 EMI 噪声来源

2.1 引脚排列

为了减少 EMI，必须确定 buck 电路中的热回路（高 di/dt 回路）并减少其影响。图 3 显示了一个简化的 buck 电路原理图，不难看出，热回路（高 di/dt 回路）由输入电容、高边场效应管和低边场效应管组成。在 buck 电路设计中，最小化这个热回路的面积非常关键，因为回路面积越大，PCB 走线引入的寄生电感也就越大，从而在开关节点电压产生更大的振铃，引起更大的 EMI 噪声。

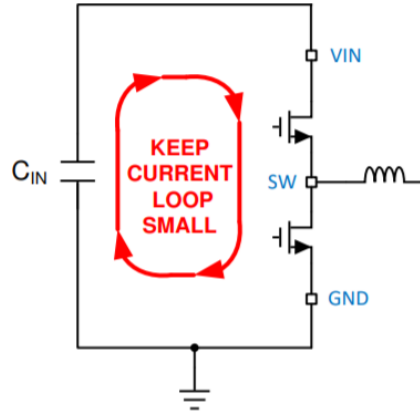


Figure 3. Buck 电路中的高 di/dt 回路

为最小化热回路的面积，TPS62933 针对引脚排列进行了优化，如图 4 所示，VIN 和 GND 引脚相互靠近，使 layout 时高 di/dt 回路的面积得以最小化，从而有效减小 EMI 噪声。

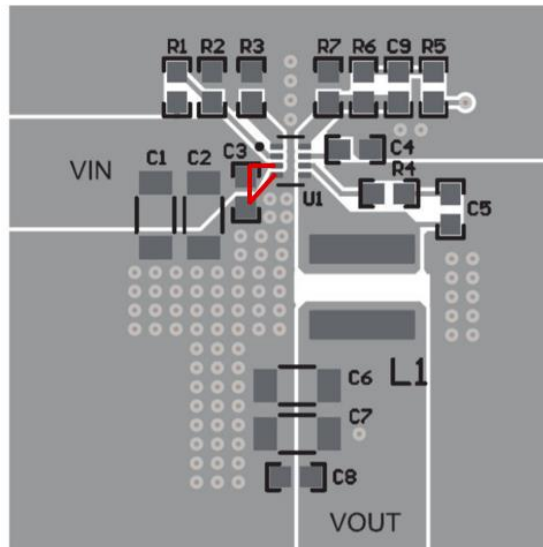


Figure 4. TPS62933 参考 PCB layout

此外，不同于传统的电源芯片封装方式多采用引线键合（wire bonding）工艺，封装引脚和晶圆之间通过金属细丝相连，具有较大的寄生电感。TPS62933 采用倒装芯片（Flip chip on lead）的封装工艺，封装引脚和晶圆之间通过铜柱相连，减小了线路寄生电感，避免了由于寄生电感导致在开关节点上产生较大的振铃。在实际应用中，也可以增加 RC 阻尼电路，从而进一步抑制开关节点的振铃。

2.2 抖频技术

在固定频率 PWM 控制器中，Buck 电路的 EMI 频谱在开关频率以及谐波频率处具有较高的峰值，往往容易超出 EMI 标准的限制。TPS62933 采用抖频技术（Frequency Spread Spectrum）使得 Buck 电路的开关频率周期性地在一定范围内变化，将 EMI 噪声分布在较宽的频率范围，从而得以降低基波和谐波频率处的噪声峰值。

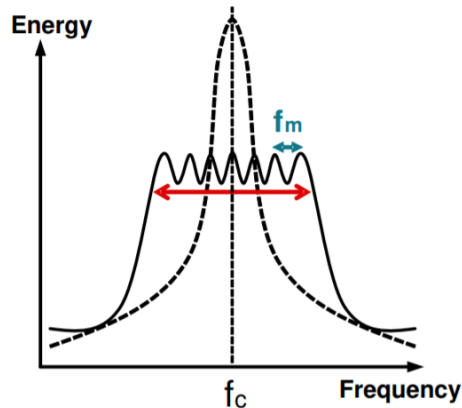


Figure 5. 通过“抖频”使开关频率在一定范围内变化

3 传导 EMI 测试

在 CISPR-22 的传导 EMI 测试标准中，测量频率范围覆盖 150kHz 至 30MHz，这一频段的 EMI 噪声以差模噪声为主，往往需要在 Buck 电路的输入端增加差模滤波器来滤除 EMI 噪声。本文所进行的 EMI 测试都是在 TPS62933 EVM 板上完成的。首先进行对 TPS62933 进行 CISPR-22 传导 EMI 测试，由图 6 测试结果可以看到，尽管 TPS62933 通过引脚排列和抖频功能优化了 EMI 性能，但在开关频率 600kHz 处仍比 CISPR-22 传导 EMI 标准的平均值上限高出了 44dB，需要设计合适的差模滤波器。

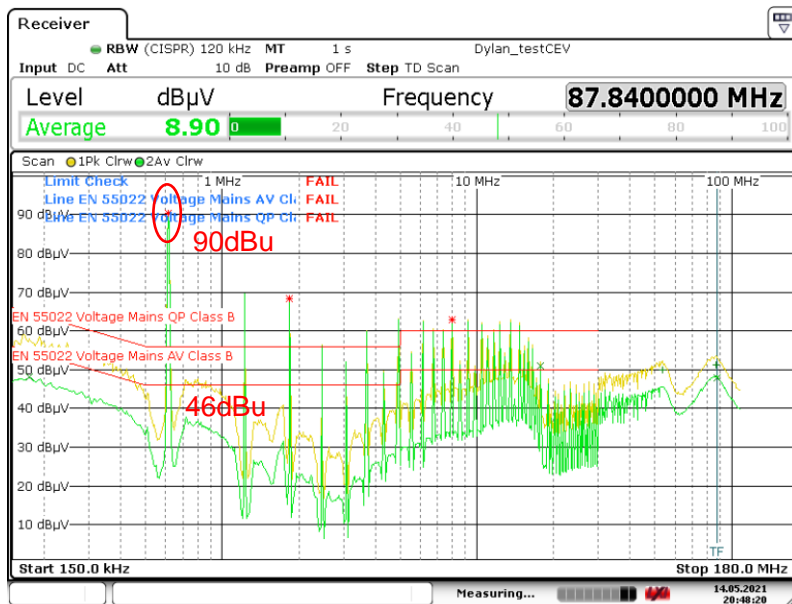


Figure 6. CISPR-22 传导 EMI 测试结果（无滤波器）

图 7 为 Buck 电路 EMI 差模滤波器的典型结构，主要由滤波电感 L_f 、滤波电容 C_f 、电解电容 C_d 组成。其中， L_f 和 C_f 构成低通滤波器，用于衰减高频 EMI 噪声，而电解电容对 LC 谐振峰起到阻尼作用。

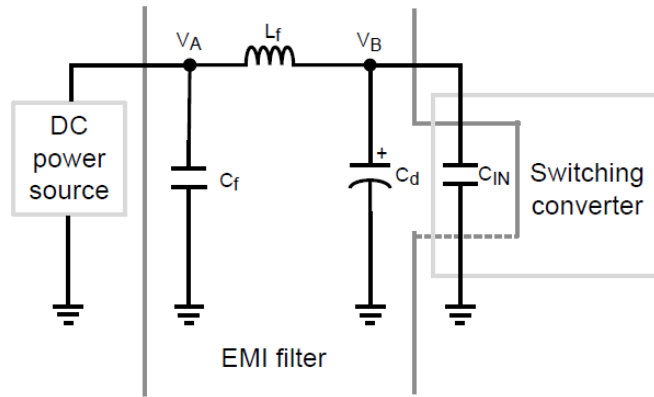


Figure 7. EMI 差模滤波器的典型电路

图 8 为 LC 滤波器的伯德图，可以看到，LC 滤波器在转折频率处有一个二重极点，因此在转折频率之后的幅值增益以 -40dB 每 10 倍频衰减，因此对高频 EMI 噪声起到滤波的作用。LC 滤波的转折频率越低，在开关频率 600kHz 处对噪声的衰减作用越明显，但需要 LC 滤波器的体积越大。

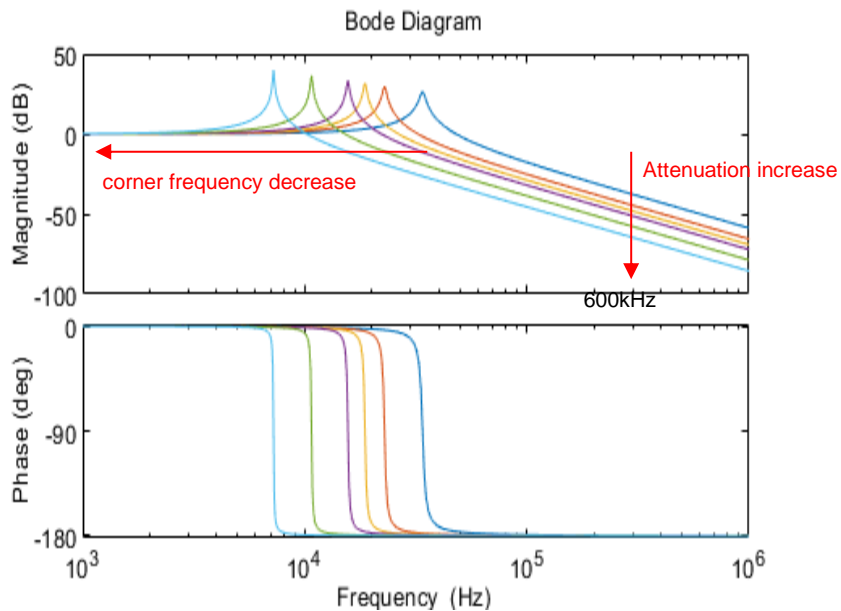


Figure 8. LC 滤波器转折频率的选取

为通过 CISPR-22 传导测试标准，并留有一定裕度，希望 EMI 噪声在开关频率 $f=600\text{kHz}$ 处可以被衰减 $A=55\text{dB}$ ，根据衰减幅值与频率的关系，可以计算得到 LC 滤波器的转折频率为 25.3kHz 。

$$A[\text{dB}\mu\text{V}] = 40 \log\left(\frac{f}{f_c}\right)$$

不同于理想电感，实际电感由于等效并联电容等寄生参数的影响，在自谐振频率(SRF)处阻抗达到最大值，超出自谐振频率(SRF)之后，电感的阻抗开始下降，会影响到对高频噪声的衰减效果。电感的自谐振频率(SRF)和电感尺寸相关，一般来说，电感的感值越大，尺寸也就越大，寄生参数也就越大，自谐振频率(SRF)往往较低。如图 9，同一工艺的电感相比，2.2 μ H 电感的自谐振频率(SRF)为 50MHz，而 22 μ H 电感的自谐振频率(SRF)只有 17.5MHz。因此，在满足转折频率的情况下，应尽量选取较小的感值，在本设计中选取了 2.2 μ H 电感 L_f ，并根据 25.3kHz 的转折频率选取 22 μ F 电容 C_f 。

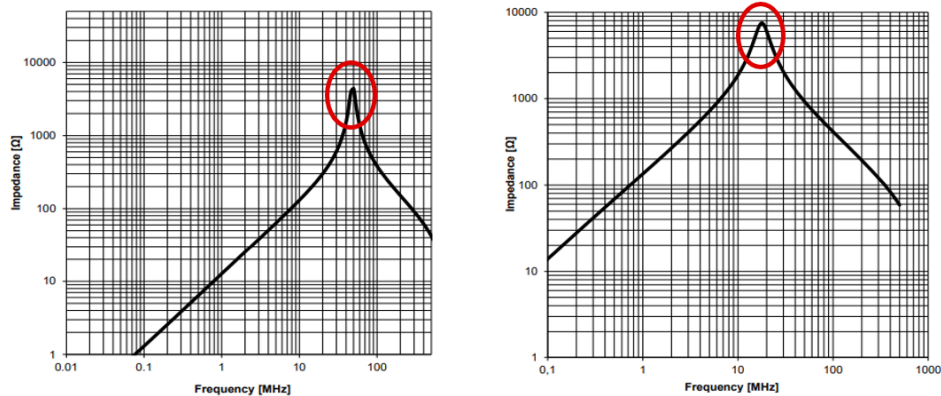


Figure 9. 2.2 μ H 与 22 μ H 电感的阻抗 vs 频率特性对比

LC 低通滤波器在转折频率处存在谐振峰值，会导致低频噪声的放大，同时可能会影响到 Buck 变换器的运行稳定性，因此需要进行阻尼。阻尼滤波器的典型方法是在 LC 滤波器之后并联 RC 电路，在本设计中利用了电解电容本身 ESR 较大的特点，采用电解电容来对谐振峰起到较好的阻尼效果。电解电容的容值一般取 4 倍的输入电容容值，以达到较好的阻尼效果。如图 10 所示，在阻尼之后，谐振峰幅值被削减了约 10dB 左右。

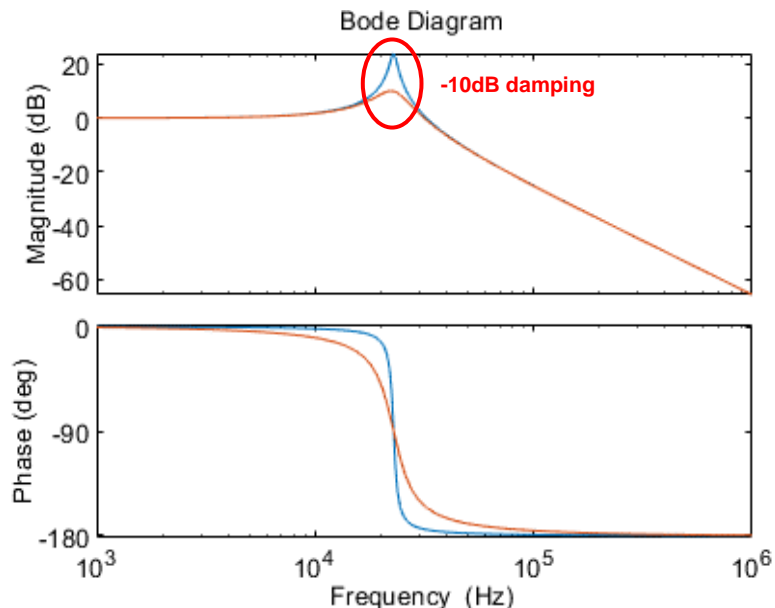


Figure 10. 电解电容对谐振峰的阻尼效果

在完成差模滤波器设计后，再次对 TPS62933 进行 CISPR-22 传导 EMI 测试，由图 11 测试结果可以看到，TPS62933 顺利通过了测试，在开关频率 600kHz 处比 CISPR-22 传导测试的平均值上限低出了 11dB，具有较多的裕度。

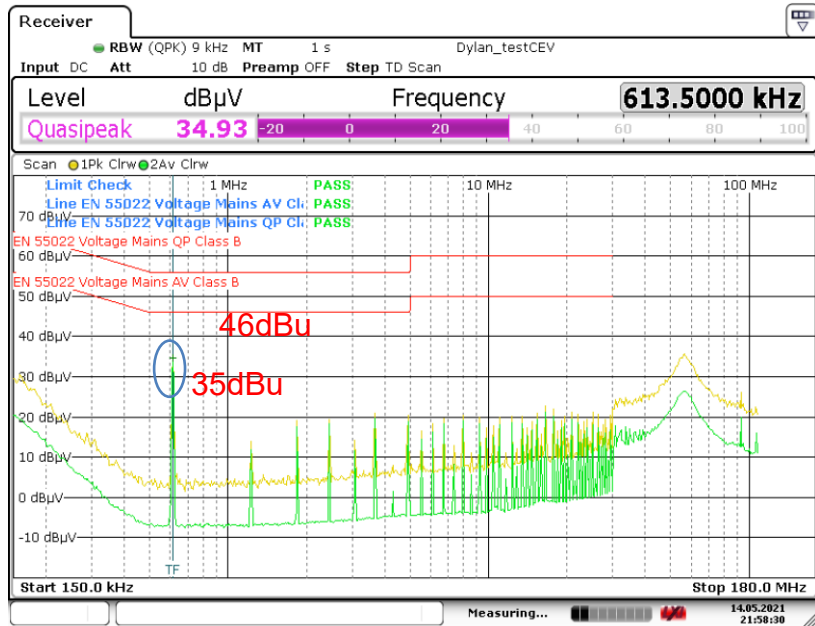


Figure 11. CISPR-22 传导 EMI 测试结果（加差模滤波器）

4 辐射 EMI 测试

在 CISPR-22 的辐射 EMI 测试标准中，测量频率范围覆盖 30MHz 至 1GHz，包括水平和垂直两个方向。由图 12 可以看到，TPS62933 的辐射 EMI 幅值在 400MHz 至 600MHz 之间超出了限制。

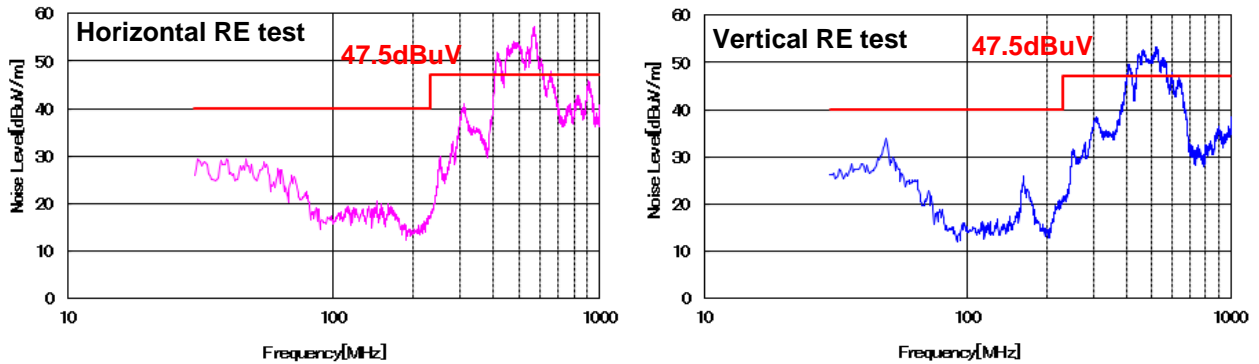


Figure 12. CISPR-22 辐射 EMI 测试结果（无共模滤波器）

这是因为如 13 图所示，buck 电路中的 EMI 噪声由差模噪声和共模噪声共同组成，而 30MHz 至 1GHz 频段的 EMI 噪声以共模噪声为主导，因此往往需要在 buck 电路输入端额外设计共模滤波器来滤除共模噪声。

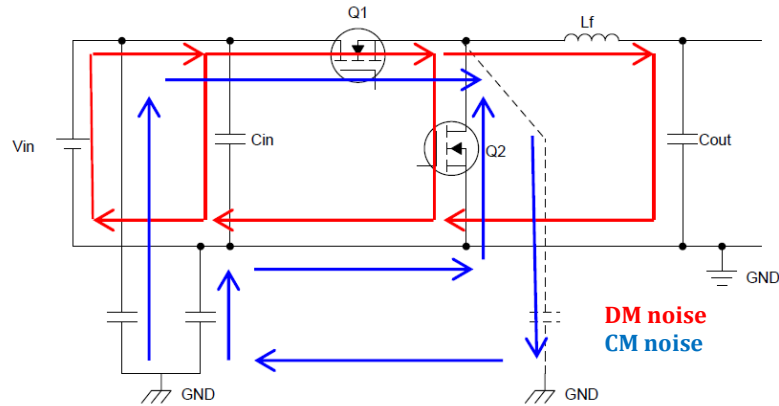


Figure 13. Buck 电路中的差模和共模噪声路径

滤除共模噪声最有效的办法是增加共模电感，共模电感的缺点是体积较大且价格昂贵。由于 TPS62933 本身通过优化引脚排列，有利于实现较优的 layout，使得辐射 EMI 噪声超出限制的幅值并不多，因此本文采用在正负电源线上分别串入磁珠的方式来抑制共模噪声。相比共模电感，磁珠在有效抑制共模噪声的同时，可以减小体积并降低成本。如图 14 所示，在正负电源线上分别串入磁珠之后，TPS62933 顺利通过了 CISPR-22 辐射 EMI 测试。

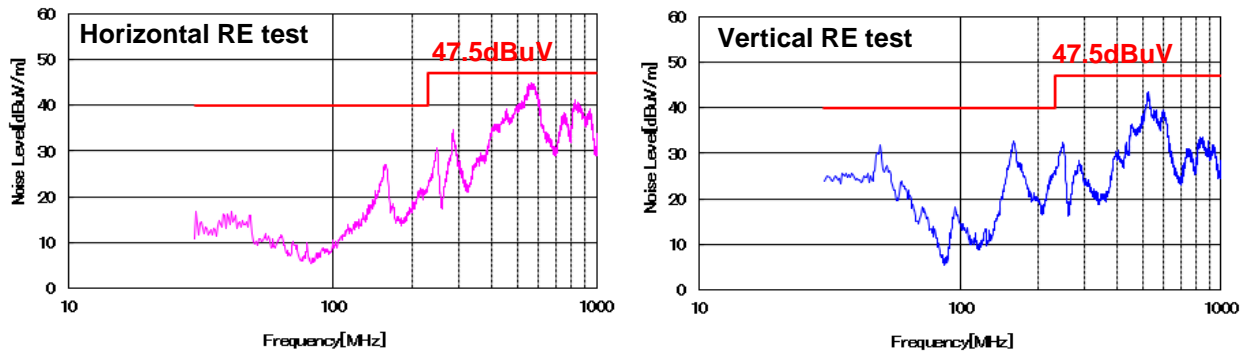


Figure 14. CISPR-22 辐射 EMI 测试结果（加共模滤波器）

5 参考文献

1. SLYY136 An overview of conducted EMI specifications for power supplies
2. SLYY142 An overview of radiated EMI specifications for power supplies
3. SNVA721 Low Radiated EMI Layout Made SIMPLE with LM4360x and LM4600x
4. AN-2162 Simple Success with Conducted EMI From DC-DC Converters

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 © 2021，德州仪器 (TI) 公司