

# 传导辐射测试中分离共模和差模辐射的实用方法

Ling Jiang, 应用工程师; Frank Wang, EMI工程师;  
Keith Szolusha, 应用总监; Kurk Mathews, 高级应用经理

开关稳压器的EMI分为电磁辐射和传导辐射(CE)。本文重点讨论传导辐射, 其可进一步分为两类: 共模(CM)噪声和差模(DM)噪声。为什么要区分CM-DM? 对CM噪声有效的EMI抑制技术不一定对DM噪声有效, 反之亦然, 因此, 确定传导辐射的来源可以节省花在抑制噪声上的时间和金钱。本文介绍一种将CM辐射和DM辐射从LTC7818控制的开关稳压器中分离出来的实用方法。知道CM噪声和DM噪声在CE频谱中出现的位置, 电源设计人员便可有效应用EMI抑制技术, 这从长远来看可以节省设计时间和BOM成本。

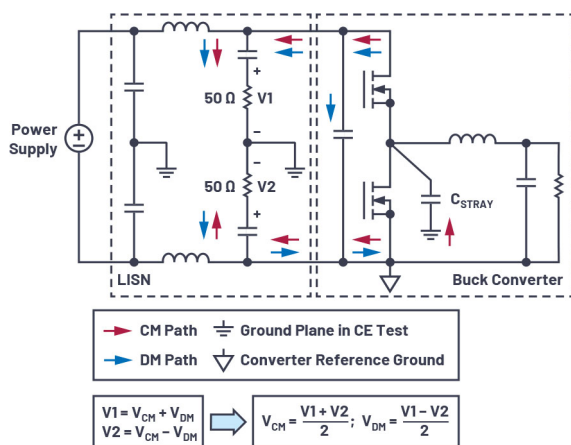


图1. 降压转换器中的CM噪声路径和DM噪声路径。

图1显示了典型降压转换器的CM噪声和DM噪声路径。DM噪声在电源线和返回线之间产生, 而CM噪声是通过杂散电容 $C_{STRAY}$ 在电源线和接地层(例如铜测试台)之间产生。用于CE测量的LISN位于电源和降压转换器之间。LISN本身不能用于直接测量CM和DM噪

声, 但它确实能测量电源和返回电源线噪声——分别为图1中的V1和V2。这些电压是在50Ω电阻上测得的。根据CM和DM噪声的定义, 如图1所示, V1和V2可以分别表示为CM电压( $V_{CM}$ )和DM电压( $V_{DM}$ )的和与差。因此, V1和V2的平均值就是 $V_{CM}$ , 而V1和V2之差的一半就是 $V_{DM}$ 。

## 测量CM噪声和DM噪声

T型功率合成器是一种无源器件, 可将两个输入信号合成为一个端口输出。 $0^\circ$ 合成器在输出端口产生输入信号的矢量和, 而 $180^\circ$ 合成器产生输入信号的矢量差<sup>1</sup>。因此,  $0^\circ$ 合成器可用于产生 $V_{CM}$ ,  $180^\circ$ 合成器产生 $V_{DM}$ 。

图2所示的两个合成器ZFSC-2-1W+ ( $0^\circ$ )和ZFSCJ-2-1+ ( $180^\circ$ )来自Mini-Circuits, 用于测量1 MHz至108 MHz的 $V_{CM}$ 和 $V_{DM}$ 。对于这些器件, 频率低于1 MHz时测量误差会增大。对于较低频率的测量, 应使用其他合成器, 例如ZMSC-2-1+ ( $0^\circ$ )和ZMSCJ-2-2 ( $180^\circ$ )。

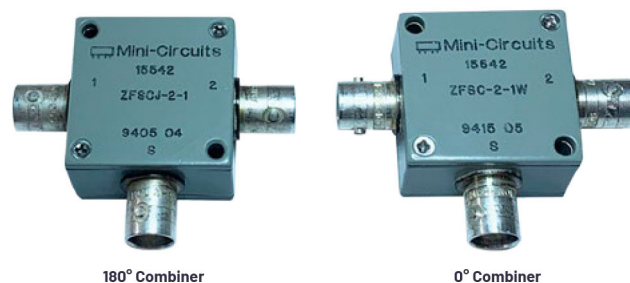


图2.  $0^\circ$ 和 $180^\circ$ 合成器。

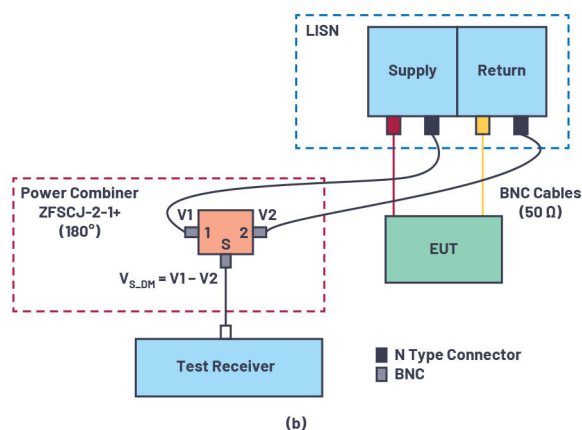
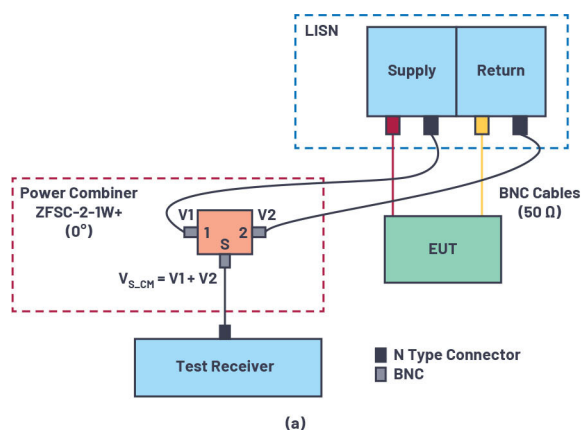


图3. 用于测量(a)  $V_{CM}$ 和(b)  $V_{DM}$ 的实验装置。

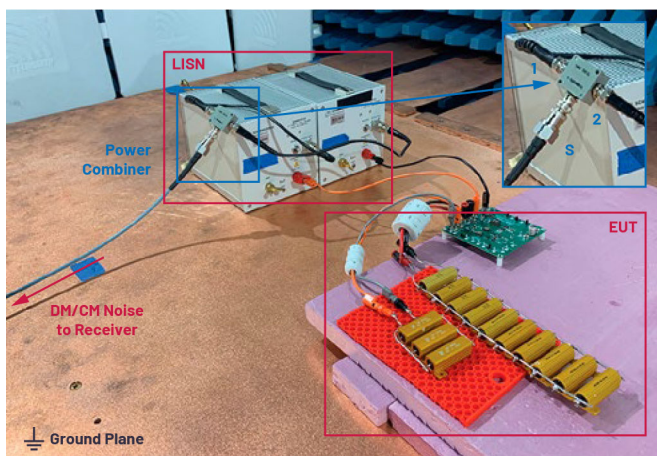


图4. 用于测量CM噪声和DM噪声的测试设置。

测试设置如图3所示。功率合成器已添加到标准CE测试设置中。LISN针对电源线和返回线的输出分别连接到合成器的输入端口1和输入端口2。 $0^\circ$ 合成器的输出电压为 $V_{S,CM} = V1 + V2$ ； $180^\circ$ 合成器的输出电压为 $V_{S,DM} = V1 - V2$ 。

合成器的输出信号 $V_{S,CM}$ 和 $V_{S,DM}$ 必须在测试接收器中处理，以产生 $V_{CM}$ 和 $V_{DM}$ 。首先，功率合成器已指定接收器中补偿的插入损耗。其次，由于 $V_{CM} = 0.5 V_{S,CM}$ 且 $V_{DM} = 0.5 V_{S,DM}$ ，因此测试接收器从接收到的信号中再减去6 dB $\mu$ V。补偿这两个因素之后，在测试接收器中读出测得的CM噪声和DM噪声。

## CM噪声和DM噪声测量的实验验证

使用一个装有双降压转换器的标准演示板来验证此方法。演示板的开关频率为2.2 MHz， $V_{IN} = 12$  V， $V_{OUT1} = 3.3$  V， $I_{OUT1} = 10$  A， $V_{OUT2} = 5$  V， $I_{OUT2} = 10$  A。图4显示了EMI室中的测试设置。

图5和图6显示了测试结果。在图5中，较高EMI曲线表示使用标准CISPR 25设置测得的总电压法CE，而较低辐射曲线表示添加 $0^\circ$ 合成器后测得的分离CM噪声。在图6中，较高辐射曲线表示总CE，

而较低EMI曲线表示添加 $180^\circ$ 合成器后测得的分离DM噪声。这些测试结果符合理论分析，表明DM噪声在较低频率范围内占主导地位，而CM噪声在较高频率范围内占主导地位。

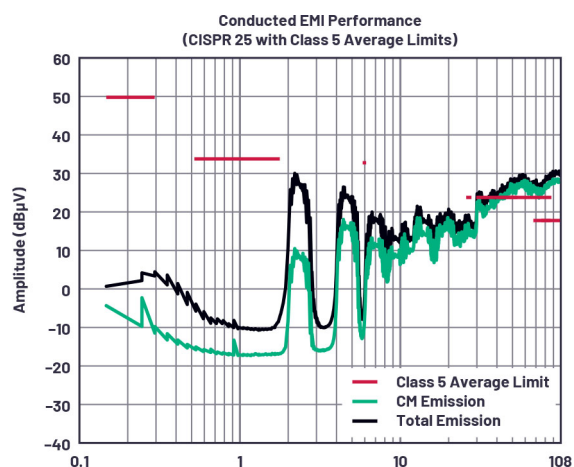


图5. 测得的CM噪声与总噪声的关系。

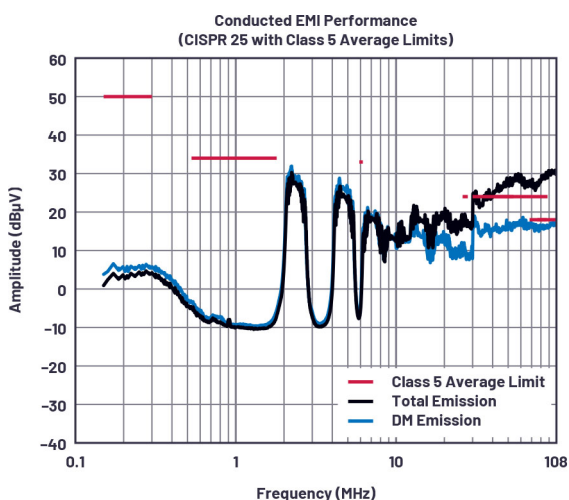


图6. 测得的DM噪声与总噪声的关系。

# 调整后的演示板符合CISPR 25 Class 5标准

根据测量结果，在30 MHz至108 MHz范围，总辐射噪声超过了CISPR 25 Class 5的限值。通过分离CM和DM噪声测量，发现此范围内的高传导辐射似乎是由CM噪声引起的。添加或增强DM EMI滤波器或以其他方式降低输入纹波几乎没有意义，因为这些抑制技术不会降低该范围内引发问题的CM噪声。

因此，该演示板展示了专门解决CM噪声的办法。CM噪声的来源之一是开关电路中的高dV/dt信号。通过增加栅极电阻来降低dV/dt，可以降低该噪声电平。如前所述，CM噪声通过杂散电容 $C_{STRAY}$ 穿过LISN。 $C_{STRAY}$ 越小，在LISN中检测到的CM噪声就越低。为了减小 $C_{STRAY}$ ，应减少此演示板上开关节点的覆铜面积。此外，转换器输入端添加了一个CM EMI滤波器，以获得高CM阻抗，从而降低进入LISN的CM噪声。通过实施这些办法，30 MHz至108 MHz范围的噪声得以充分降低，从而符合CISPR 25 Class 5标准，如图7所示。

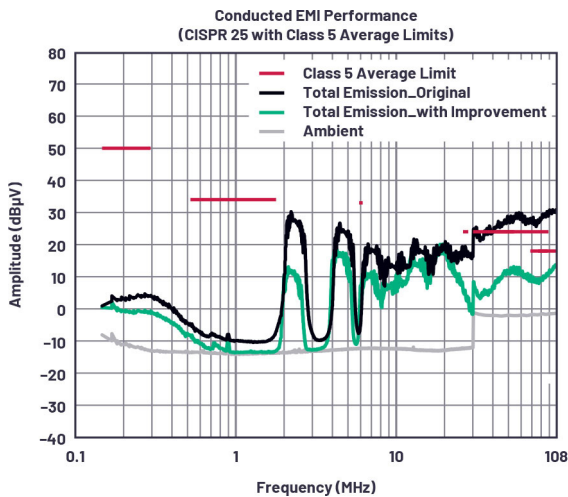


图7. 总噪声得到改善。

# 结论

本文介绍了一种用于测量和分离总传导辐射中的CM噪声和DM噪声的实用方法，并通过测试结果进行了验证。如果设计人员能够分离CM和DM噪声，便可实施专门针对CM或DM的减轻解决方案来有效抑制噪声。总之，这种方法有助于快速找到EMI故障的根本原因，节省EMI设计的时间。

# 参考文献

“AN-10-006：了解功率分路器”。Mini-Circuits，2015年4月。



## 作者简介

Ling Jiang于2018年毕业于田纳西州诺克斯维尔大学，获电气工程博士学位。毕业后，她加入ADI公司电源产品部，工作地点位于美国加利福尼亚州圣克拉拉。Ling是一名应用工程师，负责为汽车、数据中心、工业和其他应用的控制器和µModule器件提供支持。联系方式：[ling.jiang@analog.com](mailto:ling.jiang@analog.com)。



## 作者简介

Frank Wang获得德克萨斯大学达拉斯分校电气工程硕士学位，在加入ADI公司之前，曾在一家独立认证的合规实验室工作。他曾担任EMC/EMI测试工程师和项目负责人，拥有四年相关工作经验。Frank在标准测试、时间表安排、工程调试、测试仪器校准和烟室维护方面拥有丰富的经验。联系方式：[frank.wang@analog.com](mailto:frank.wang@analog.com)。



## 作者简介

Keith Szolusha是ADI公司应用总监，工作地点位于美国加利福尼亚州圣克拉拉。Keith在BBI电源产品部工作，重点关注升压、降压-升压和LED驱动器产品，同时还管理电源产品部的EMI室。他毕业于马萨诸塞州剑桥市麻省理工学院(MIT)，1997年获电气工程学士学位，1998年获电气工程硕士学位，专攻技术写作。联系方式：[keith.szolusha@analog.com](mailto:keith.szolusha@analog.com)。



## 作者简介

Kurk Mathews是ADI公司电源产品部高级应用经理，工作地点位于加利福尼亚。Kurk于1994年加入凌力尔特（现为ADI公司一部分）并担任应用工程师，为隔离转换器和高功率产品提供支持。其所在部门支持电源应用和新型控制器、单芯片转换器、栅极驱动器的开发。他喜欢使用各种新旧测试设备进行模拟电路设计和故障排除。Kurk毕业于亚利桑那大学，获得电气工程学士学位。联系方式：[kurk.mathews@analog.com](mailto:kurk.mathews@analog.com)。

