



[Kevin Chen1](#) 2019-8-6

EMI 的工程师指南，完整版目录

[EMI 的工程师指南第 1 部分 – 规范和测量](#)

[EMI 的工程师指南第 2 部分 – 噪声传播和滤波](#)

[EMI 的工程师指南第 3 部分 – 了解功率级寄生效应](#)

[EMI 的工程师指南第 4 部分 – 辐射发射](#)

[EMI 的工程师指南第 5 部分 – 采用集成 FET 设计的 EMI 抑制技术](#)

[EMI 的工程师指南第 6 部分 – 采用离散 FET 设计的 EMI 抑制技术](#)

[EMI 的工程师指南第 7 部分 – 反激式转换器的共模噪声](#)

[EMI 的工程师指南第 8 部分 – 隔离式 DC/DC 电路的共模噪声抑制方法](#)

[EMI 的工程师指南第 9 部分 – 扩频调制](#)

第1部分 – 规范与测量

简介

多数电源应用必须减少电磁干扰 (EMI) 以满足相关要求，系统设计人员必须尝试各种方法来减少传导和辐射发射。

电磁兼容性 (EMC) 标准的合规性（例如，针对多媒体设备的 CISPR 32，针对汽车应用的 CISPR 25）是一项非常重要的任务，与产品开发成本和上市时间息息相关。

对于 DC/DC 转换器而言，虽然采用开关更快的电源器件可以提升开关频率并缩小尺寸，但在开关转换期间出现的开关电压和电流转换率（dv/dt 和 di/dt）有所提升，通常引起 EMI 加剧，导致整个系统出现问题。

例如，氮化镓 (GaN) 电源器件的开关速度极快，导致高频条件下的 EMI 增加 10dB。EMI 滤波器是电力电子系统不可或缺的组成部分，在总体积和总重量方面占比相对较大。因此，必须非常关注系统的 EMI 降噪和抑制，不仅要满足 EMC 规范，还需降低解决方案成本并提高系统功率密度。

本文是 EMI 系列文章的第一部分，回顾了相关标准和测量技术，主要侧重于传导发射。表 1 列出了与 EMI 有关的常用缩写和命名法。

IEC	国际电工委员会
CISPR 25	国际无线电干扰特别委员会，一个 IEC 技术委员会
EN 55022	欧洲标准，由 CENELEC 制定并经欧盟 (EU) 批准，是 CISPR22 衍生标准的修改版
FCC 第 15 部分	联邦通信委员会；第 15 部分 B 小节适用于无意辐射体
ANSI C63.4	美国国家标准学会
CENELEC	欧洲电子技术标准委员会
CE 标识	欧洲合格认证
ITE	信息技术设备
EUT	待测设备
OATS	开阔试验场
ALSE	内衬吸收器的屏蔽外壳
SAC , FAR	半消音室，全消音室
LISN	线路阻抗稳定网络
AMN , AN	人工电源网络，人工网络
AE	辅助/关联设备
CE , RE	传导发射，辐射发射
CS , RS	传导敏感性，辐射敏感性
DM , CM	差模，共模
RBW	(EMI 接收器/频谱分析仪的) 分辨率带宽
FFT	快速傅立叶变换
PE , GW	保护性接地，绿色导线（均指接地或外壳接地）
dB μ V , dB μ A	0dB μ V = 1 μ V , 20dB μ A = 10 μ A

表 1：与 EMI 和 EMC 相关的常见缩略语、缩写和单位

EMC 监管规范

EMC 指系统或内含元器件在其电磁环境中按要求运行，不会对环境中的任何设备产生超出容限的电磁干扰的能力。此类干扰可能造成严重后果，因此各种国内和国际[监管规范](#)中均设立了 EMC 条款。

在欧盟区域内，通信市场销售的电源产品多年来通常采用 EN 55022/CISPR 22 产品标准，从而在传导和辐射发射两方面满足合规性要求，欧盟之外参照此标准的电源产品使用 CE 符合性声明 (DoC)，满足欧盟[EMC 指令 2014/30/EU](#)的合规性。

针对北美市场设计的产品符合 FCC 第 15 部分 的限值。IEC 61000-6-3 和 IEC 61000-6-4 通用 EMC 标准分别适用于轻工业和工业环境。

然而，在辐射方面，EN 55032 产品标准已取代 EN 55022 (ITE)、EN 55013（广播接收器和相关设备）和 EN 55103-1（音视频设备）。这一新标准正式成为符合 EMC 指令的统一辐射标准 [8]。更具体地说，之前根据 EN 55022 进行测试并在 2017 年 3 月 2 日后运往欧盟的所有产品，必须符合 EN 55032 的要求。

随着 EN 55022 标准撤销并由 EN 55032 取代，电源制造商和供应商需要按照新标准更新其 DoC 证书，从而合法地使用 CE 认证徽标。图 1 显示了在 150kHz 至 30MHz 的适用频率范围内，使用准峰值 (QP) 和平均值 (AVG) 信号检测器进行的传导发射的 EN 55022/32 A 类和 B 类限值。

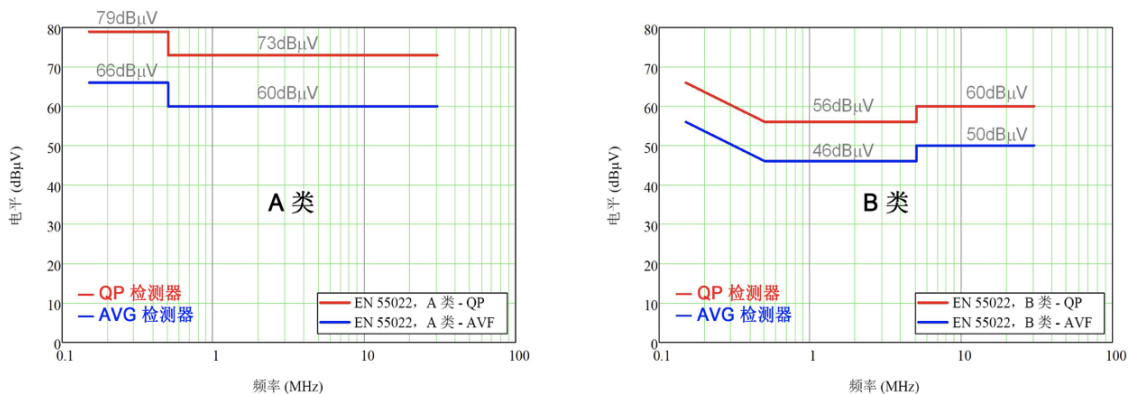


图 1：使用准峰值和平均值检测器的 EN 55022 A 类和 B 类传导发射限值

对于汽车终端设备，未来 EMC 合规性的主要推动力无疑来自于通过车辆间通信支持的自主车辆。针对“板载接收器保护”的 CISPR 25 规范已针对传导发射设置了严格的限制，在 FM 频带（76MHz 至 108MHz）的限制尤为严格。

从监管角度而言，UNECE 10 号法规在 2014 年 11 月取代了欧盟的汽车 EMC 指令 2004/104/EC，其中要求制造商必须取得所有车辆、电子元器件 (ESA)、元器件和独立技术单元的类型认证。

CISPR 25 测试的传导发射均在 150kHz 至 108MHz 频率范围的特定频带内进行测量。具体而言，调节频率范围分布在 AM 广播、FM 广播和移动服务频带之间，如图 2 中的图象和表格所示。图 2 还绘制了 CISPR 25 5 类（最严苛的要求）的相关限值图象。尽管频带之间的带隙允许更高的噪声尖峰，但汽

车制造商可能会根据其特定的内部 EMC 要求选择扩展这些频率范围。这些要求通常基于国际 IEC 标准，仅更改不同测试或限值的少量参数，其核心内容保持不变。

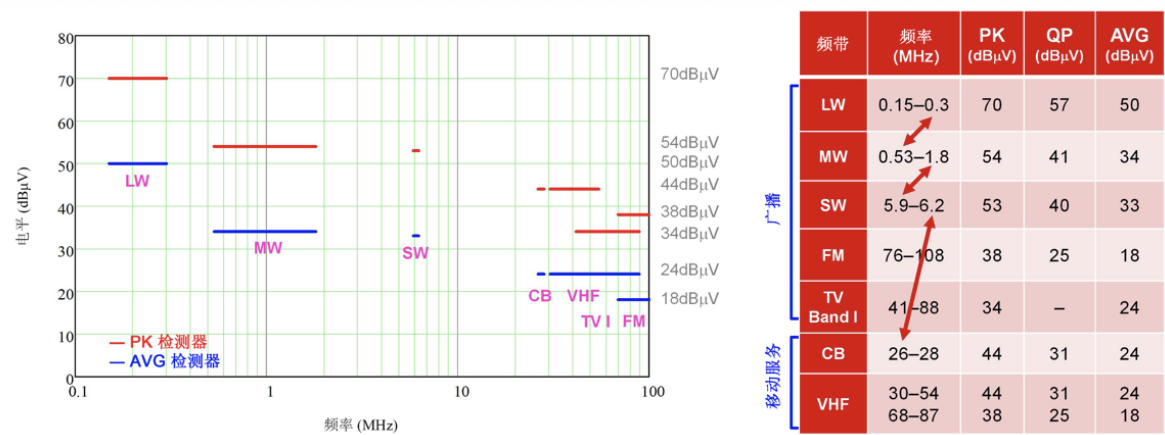


图 2：CISPR 25 5 类传导发射限值

为了应对 CISPR 25 限值带来的挑战，尤其是 FM 频带方面，请注意，50Ω 测量电阻产生的 18dBμV 对应的噪声电流仅为 159nA。

测量传导 EMI

LISN 测量 EUT 产生的传导发射。它是插入 EMI 源和电源之间测量点的接口，确保 EMI 测量结果的可重复性和可比较性。图 3 所示为根据 CISPR 16-1-2或 ANSI C63.4。标准定义的标准 50μH LISN 的功能等效电路（并非完整原理图）。

LISN 提供：

- 在给定频率范围内，产生经过校准的稳定信号源阻抗。
- 在该频率范围内，将 EUT 和测量设备与输入电源隔离。
- 与测量设备建立安全适用的连接。
- 单独测量两条线路的总噪声级别，图 3 中以 L 和 N 表示。

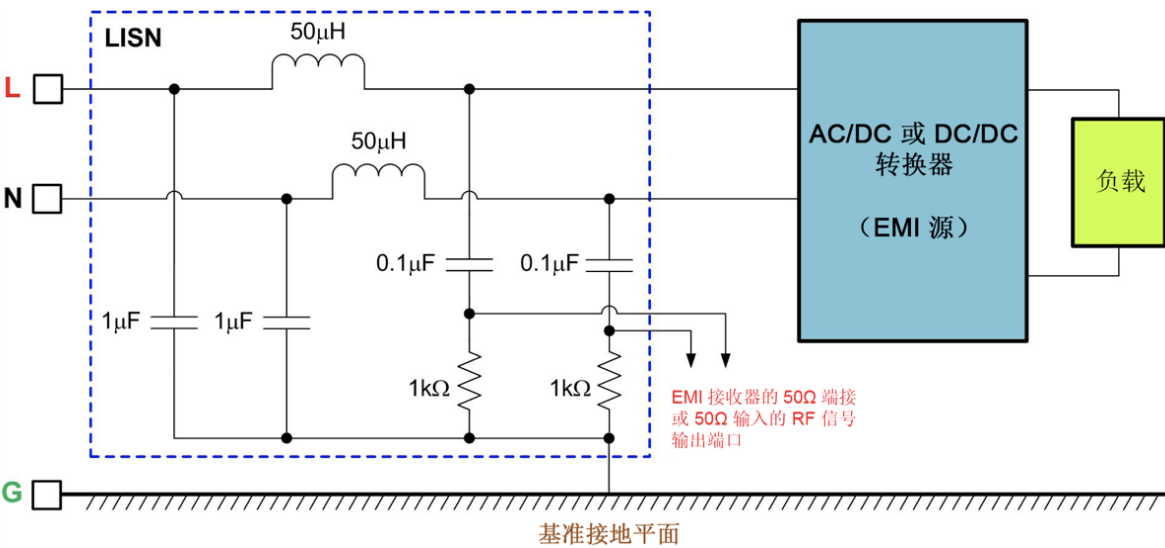


图 3：使用 V 型 LISN 进行的传导发射测量

简而言之，使用信号源阻抗已知的预定义测试方案能够获得可重复性结果。注：LISN 可能包含一个或多个独立 LISN 电路。

LISN 的实质是 pi 滤波器网络。通过低通电感-电容 (LC) 滤波器，EUT 与输入电源线 L 和 N 相连，如图 3 所示。LISN 电感值基于在产品理想安装状态下，电源线的预期电感。

CISPR 16 和 ANSI C63.4 为 LISN 指定了一个 $50\mu\text{H}$ 电感，该值与电信设备中约 50 米的配电布线系统的电感相符。相反，CISPR 25 指定 $5\mu\text{H}$ LISN，与汽车线束的近似电感相对应。

LISN 为噪声发射信号提供明确定义的阻抗。LISN 制造商通常提供校准曲线，指示特定测量频率范围内的标称阻抗。根据 CISPR 16-1-2，允许的容差是 $\pm 20\%$ 的幅值和 $\pm 11.5^\circ$ 的相位。

对于使用 EMI 接收器或频谱分析仪进行的测量，噪声信号可通过高通滤波器网络（如图 3 所示）获得，该网络的耦合电容为 $0.1\mu\text{F}$ ，放电电阻为 $1\text{k}\Omega$ ，测量端口的端接电阻为 50Ω 。图 4 显示了在 150kHz 至 30MHz 的频率范围， $(50\mu\text{H} + 50\Omega) \parallel 50\Omega$ LISN 的模拟阻抗图。

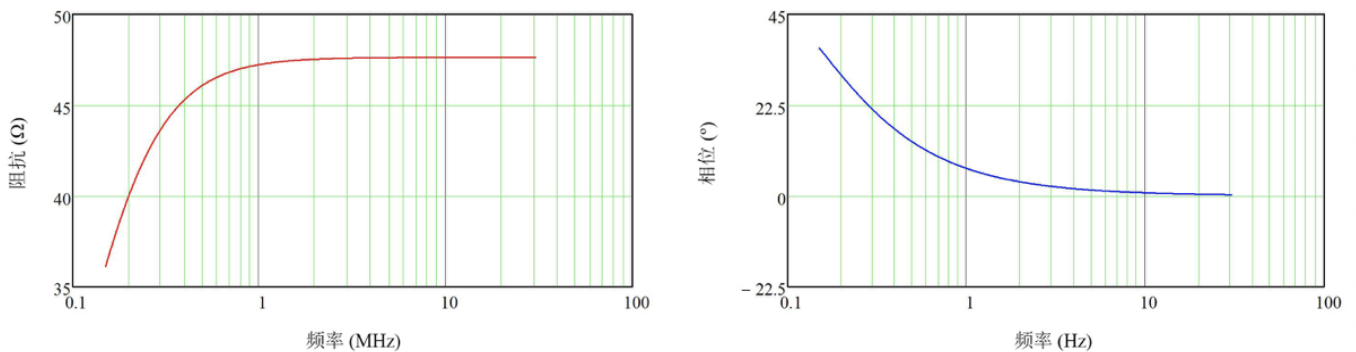


图 4：在 150kHz 至 30MHz 的调节频率范围内，测量端口处的 50Ω ， $50\mu\text{H}$ LISN 标称阻抗特性

针对汽车应用的 CISPR 25 测试装置

图 5 显示了 CISPR 25 推荐的传导发射测试装置。该标准定义了待测系统的处理方式以及测量方案和设备。根据 CISPR 25 规范，LISN 在此处指定为 AN。当汽车功率回流线超过 200mm 时，EUT 远程接地，需要两个 AN：二者分别用于正电源线和功率回流线。相反，如果汽车功率回流线不超过 200mm ，则 EUT 本地接地，只需将一个 AN 应用于正电源。

AN 直接安装在基准接地平面之上，AN 外壳与接地平面相连。电源回流线还与电源和 AN 之间的接地平面相连。将 EMI 接收器连接到相应 AN 的测量端口可确保成功测量每条电源线上的传导发射。与此同时，插入另一条电源线的 AN 的测量端口端接 50Ω 负载。

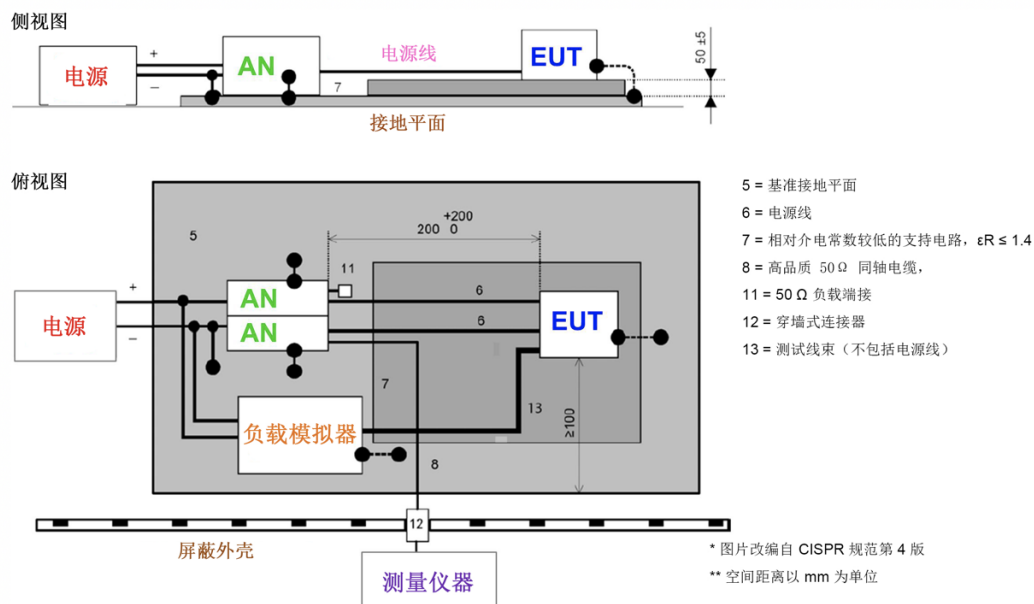


图 5: CISPR 25 传导 EMI 测试方案 (电压法) 概述

图 6 显示了用于预合规测试的 CISPR 25 传导发射试验室 [11]。LISN 是右侧的蓝色箱体，锂离子汽车电池位于其后，DUT 位于左侧的绝缘材料上。为了在特定电源电压下 (例如 13.5V) 进行测试，使用可变电压源从试验室外部通过隔板馈电。结果通过各自的 LISN 在线路端 (热回路) 和返回端 (接地) 获取。

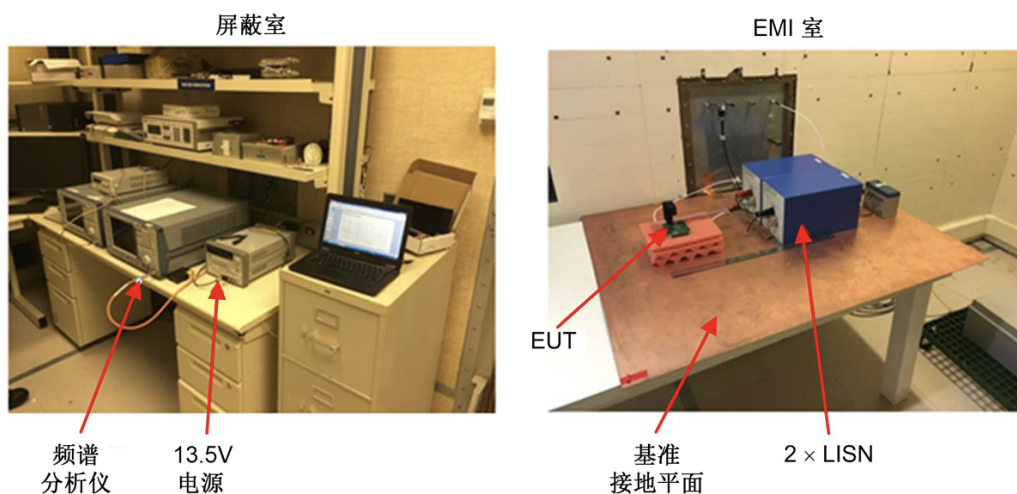


图 6: 使用两个单极 LISN 和铜箔接地平面的 CISPR 25 传导 EMI 测试装置

图 7 显示了典型的 CISPR 25 传导 EMI 扫描结果，黄色和蓝色分别表示峰值和平均测量值。我们可以看到 DC/DC 转换器安静地运行，传导发射远低于严格的 5 类限值。这种测量技术在 30MHz 以上发生改变，因为 EMI 接收器的 RBW 从 9kHz 调整为 120kHz，可能导致测量噪底发生变化。

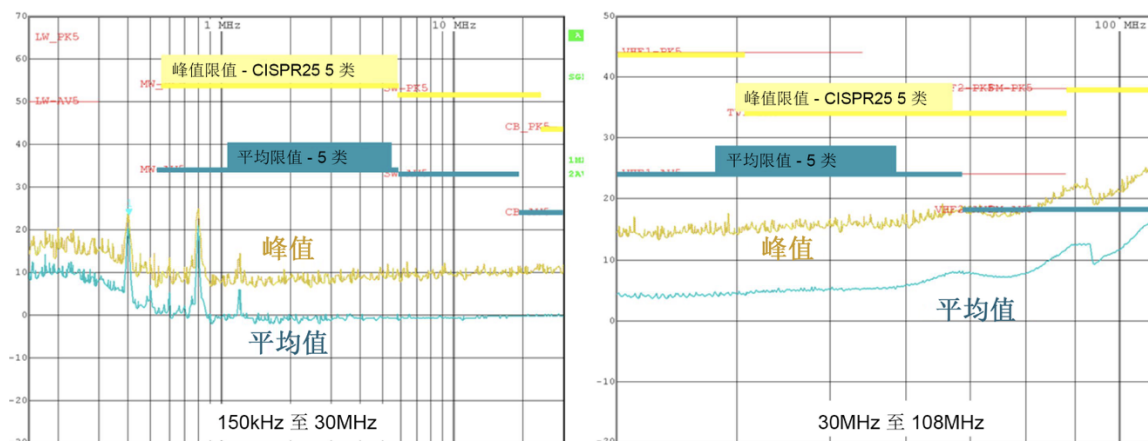


图 7：典型的 CISPR 25 传导 EMI 测量

总结

有意或者无意产生的电磁能量均对其他设备造成电磁干扰。商业产品需要在正常运行过程中将产生的电磁能量降至最低水平。

世界各地的许多管理机构均对允许最终产品产生的传导和辐射 EMI 的等级进行了规定。采用适用的测量技术可以定量分析此类发射，以便采取适当的措施符合法规的合规性。

EMC 要求通常事关在 AC 电源线（和信号线）所测量系统的整体情况，而 DC/DC 转换器作为子元器件，并没有具体的 EMC 限值。然而，用户可以执行预合规性测试，确定 EMI 是否造成不良影响。

[下一篇：EMI 的工程师指南第 2 部分 – 噪声传播和滤波](#)



0 评论 0 名在线用户