

Application Brief

了解用于测量

传导发射的 CISPR25 电流探头法和电压法



Madison Eaker, Delaney Berger

Systems Engineering and Marketing

想象一下，您在堵车的时候通过收音机听着音乐，然后突然发生干扰，听不了您最喜欢的部分，或者干扰导致重要的新闻广播发生了中断。值得庆幸的是，汽车均设计为符合国际无线电干扰特别委员会 (CISPR25) 的各项标准，因此可以避免类似这样的中断。

CISPR25 包含在 150kHz 至 2.5GHz 频率范围内无线电干扰测量的限值 and 程序，其中定义的频率范围涵盖传导发射和辐射发射。本文仅关注传导发射。CISPR25 定义了两种传导发射测试方法：电流探头法和电压法。这两种方法都可以用来确定被测器件 (DUT) 是通过还是未通过发射测试限制。客户通常需要使用电流探头法或电压法。优先选择哪种方法，取决于原始设备制造商 (OEM) 的要求。

本文应客户申请，介绍了如何根据 CISPR25 测试器件。客户提供了使用电流探头法得到的传导发射结果，而德州仪器 (TI) 使用电压法进行测试。此外，客户限值要求以 dBm 为单位。这不禁让人们感兴趣了解测量方法之间的关系，以及 dBm、dBμA 和 dBμV 之间的单位换算。要讨论的情况是，不同的方法和单位之间是否可以互换。

CISPR25 测试设置

一般来说，需要的测试设备是：参考接地层、电源、人工网络和负载模拟器。图 1 和图 2 分别显示了电压法远程接地和电流探头法远程接地的物理测试设置。国际无线电干扰特别委员会 (CISPR25) 概述了完整的测试设置和要求。

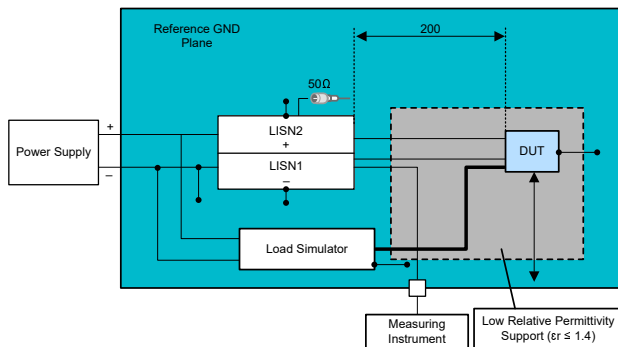


图 1. 电压法远程 GND 测试设置

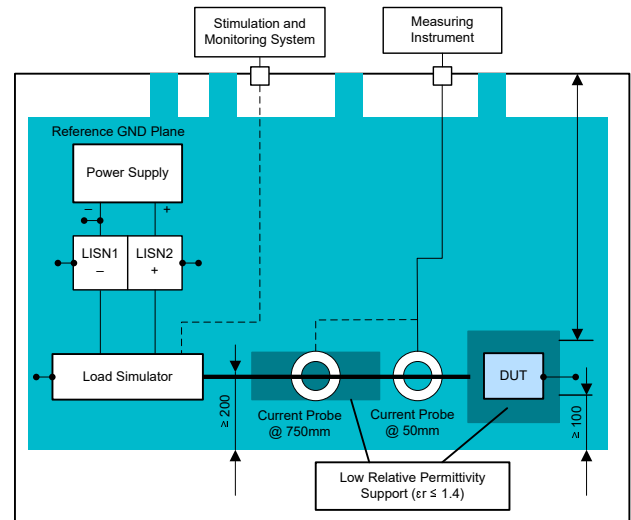


图 2. 电流探头法远程 GND 测试设置

人工网络也称为线路阻抗稳定网络 (LISN)，直接放置在参考接地层上。LISN 的用途是在采用直流 (DC) 电池时稳定 DUT 检测到的阻抗，并阻止电源电缆上存在的外部噪声。从图 1 和图 2 中可以明显看到，存在两个单独的 LISN，即 LISN1 和 LISN2，它们分别连接到电池的负极端子和正极端子。使用电压法远程接地测试设置时，LISN2 并未连接到测量仪器，这时务必要使用 50Ω 负载对它进行端接。这种阻抗匹配是为了确保没有信号反射回源极并且测量是有效的。

电压法的 CISPR25 传导发射测量在 0.15MHz 至 108MHz 的频率范围内进行，而电流探头法的对应频率范围为 0.15MHz 至 245MHz。这两种方法的测试设置和测量点也不同。如图 1 所示，电压法通过将电缆的一端连接到 LISN1，并将另一端连接到频谱分析仪，直接从人工网络进行测量。但是，对于电流探头法，如图 2 所示，探头夹在连接到 DUT 的整个线束中，然后连接到频谱分析仪，以进行测量。

仿真和结果

仿真是使用 *PSPICE-FOR-TI* 执行的。请参阅图 3 了解原理图这里使用了 12V 直流电源来对汽车电池进行建模。正极 LISN 模型包括连接到电池正极端子的 L1、

C1、C2、R1 和 R2。类似地，负极 LISN 连接到电池的负极端子。如前所述，50 Ω 电阻器 R2 和 R7 代表频谱分析仪的 50 Ω 终端和虚拟负载。最后，这里使用了理想的正弦电流源对 DUT 进行建模。为了模拟电压法测试，我们测量了 50 Ω 电阻两端的电压。由于 PSPICE-for-TI 需要一个节点来测量电流，因此将一个 1m Ω 电阻器与电流探头法仿真的理想电流源串联。

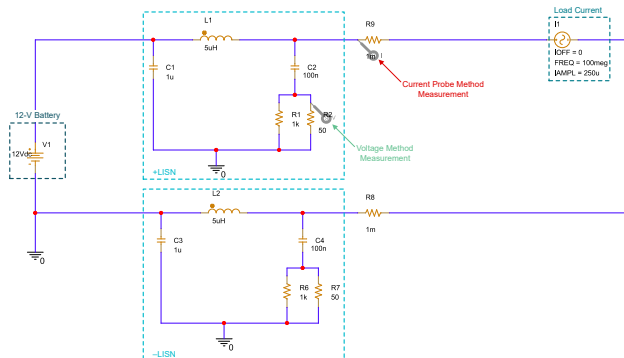


图 3. PSPICE 仿真

理论上说，电流总是走阻抗最小的路径。因此，在仿真中，预计大部分电流将流回 50 Ω 电阻器而不是电感器。但是，在较低频率下，由于串联 100nF 电容器，5μH 电感器的阻抗小于 50 Ω 电阻器的阻抗。直到大约 1.5MHz 范围，电感器的阻抗才开始超过电阻器。

为了比较仿真结果，理想正弦电流源的频率以增量步长从 100kHz 变为 108MHz。波形的频谱是使用 PSPICE-FOR-TI 中的快速傅里叶变换 (FFT) 函数获得的。FFT 数据给出了指定频率条件下的峰值测量值，对于电压法，该值单位为 mV，而对于电流探头法，单位则为 μA。

为了对这两种方法进行公平比较，这里使用了以下公式将数据转换成了 dBμA、dBμV 和 dBm。

$$dB\mu V = 20\log_{10}(mV) + 60 \quad (1)$$

$$dB\mu A = 20\log_{10}(\mu A) \quad (2)$$

$$dB\mu A = dB\mu V - 20\log_{10}(Z) \quad (3)$$

$$dB\mu V = dB\mu A + 20\log_{10}(Z) \quad (4)$$

$$dBm = dB\mu A + 10\log_{10}(Z) - 90 \quad (5)$$

$$dBm = dB\mu V - 10\log_{10}(Z) - 90 \quad (6)$$

将单位从 dBμA 和 dBμV 转换为 dBm 后，由于运行的是几乎相同的测试，因此对应的值预计是相同的。目标是只进行一项测试并将结果转换为 dBμV、dBμA 或 dBm，然后查看电压法和电流探头法测试是否通过的关系。表 1 和表 2 显示了 0.15MHz 和 100MHz 条件

下的仿真结果。从这些结果可以清楚地看出，在较高频率下，电流探头法和电压法测量值比在较低频率下更具可比性。

表 1. 0.15MHz 条件下的仿真结果

电压法	电流探头法
1.2mV	249.9 μA
27.4dBμA	47.9dBμA
61.4dBμV	81.9dBμV
-45.6dBm	-25.1dBm

表 2. 100MHz 条件下的仿真结果

电压法	电流探头法
11.3mV	237.4 μA
47.1dBμA	47.5dBμA
81.1dBμV	81.5dBμV
-25.9dBm	-25.50dBm

表 3 显示了电压法和电流探头法在给定频率下的 CISPR25 通过限值。电压法的限值来自 CISPR25 标准，而电流探头法的限值则是从 CISPR25 标准单位 dBμA 转换为 dBμV，以便进行比较。

表 3. CISPR25 电压法和电流探头法的 5 类峰值限制

频率 (MHz)	电压法 (dBμV)	电流探头法 (转换为 dBμV)
0.15 至 30	70	84
0.53 至 1.8	54	60
5.9 至 6.2	53	53
76 至 108	38	38
26 至 28	44	44
30 至 54	44	44
68 至 87	38	38

表 3 表明，该标准考虑了 LISN 阻抗特性在整个频谱范围内的影响。例如，在 0.15MHz 至 0.3MHz 范围内，电流探头法与电压法的峰值测量值之差为 84dBμV - 70dBμV = 14dBμV，而表 1 中 0.15MHz 条件下的仿真数据显示两者之间的差值为 81.93dBμV - 61.36dBμV = 20dBμV。在较高频段内，标准值和转换值相同。例如，在 76MHz 至 108MHz 范围内，峰值测量值之差为 38dBμV - 38dBμV = 0dBμV，而表 2 中 100MHz 条件下的仿真数据显示差值为 25.93dBμV - 25.50dBμV ≈ 0.4dBμV。

CISPR25 实验结果

为了验证仿真结果，对这两种方法都进行了 CISPR25 传导发射测量。这里使用了采用 DRV8706-Q1 的汽车电动车窗升降参考设计板来进行传导发射测试。对于电

流探头法，探头仅放置在输入电源线周围。由于电压法是在连接到输入电源的 LISN 处进行测量，因此最好的比较是仅测量输入电源线周围的电流，以确保我们同时测量差模和共模噪声。

为了比较这两个实验结果，这里使用了 [方程式 3](#) 将电压法结果转换为 $\text{dB}\mu\text{A}$ 。然后将转换后的电压法结果与电流探头法结果以 $\text{dB}\mu\text{A}$ 为单位绘制成曲线。

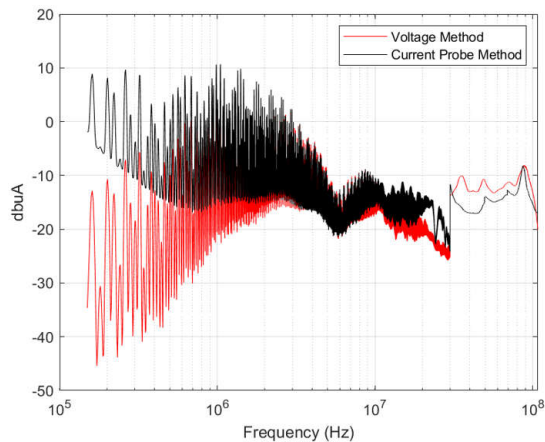


图 4. 电流探头法与电压法

在频率小于 5MHz 的情况下，电流探头法的结果往往高于电压法的结果。这是 LISN 网络的阻抗特性造成的，是预期的行为。在 5MHz 以下，一些电流流过 LISN 中的 $5\mu\text{H}$ 电感，而不是 50Ω 负载处的电压法测量位置。

为了更好地比较这些结果，请根据电压法获得的测量值计算通过输入线的电流，并将该值与电流探头法获得的测量值进行比较。此输入线电流是使用 LISN 的已知阻抗值计算得出的。

现在，将电流探头法结果与转换后的电压法结果以 $\text{dB}\mu\text{A}$ 为单位绘制成曲线。

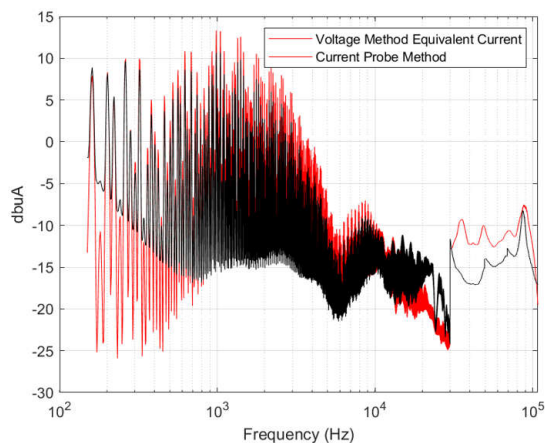


图 5. 电流探头法与电压法等效电流

从这些数据中，我们可以得出结论：电流探针法和电压法会得到非常相似的结果。在 5MHz 以下，结果几乎相同。而高于 5MHz 时，两种方法之间存在细微差别。

有一些可能的解释可以说明较高频率下结果的这种差异。第一个是电流探头位置。CISPR25 定义了两个特定的电流探头位置，距离 DUT 50mm 和 750mm。通过将电流探头放置在与 DUT 不同的距离处，某些谐波在特定探头位置变得更加明显。第二种可能的解释是电流探头直径或孔径。一般来说，孔径越小，耦合效率越高。孔径较大的电流探头针对低频或高频耦合效率进行了优化。电流探头的位置和孔径都是电流探头法和电压法在较高频率下结果变化较大的可能解释。

总之，必须要注意，这里为电流探头法和电压法选择了 CISPR25 传导发射水平来给出接近相等的限制线。在仿真中，我们了解到在低频时，LISN 网络中 $5\mu\text{H}$ 电感器的阻抗允许一些电流流过它，而不是流过 50Ω 电阻器。这导致在频率小于 5MHz 的条件下，电压法具有较低的限值。总的来说，这两种方法都得到了广泛使用，并务必要了解这两种方法相比如何。

重要通知和免责声明

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。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
版权所有 © 2025，德州仪器 (TI) 公司