

关于 CISPR 16-1-1 干扰分析仪性能测试的不一致性

Carlo Carobbi
Department of Information Engineering
Università degli Studi di Firenze
Firenze, Italy
<https://orcid.org/0000-0002-9274-8256>

Franco Milan
ELAD s.r.l.
Pordenone, Italy
franco@eladit.net

Nicolangelo Palermo
Microtelecom s.r.l.
Udine, Italy
nicopal@microtelecom.it

摘要 - 最近的一篇文章[1]提出了咯咧分析仪验证测试不一致的说法。更具体地说，发现标准 CISPR 16-1-1 [2]中定义的测试 2 和 3 与同一标准中的咯咧定义不一致。这里提供了对不一致说法的反驳。此外，提出了用于测量瞬态干扰的持续时间和间隔的解决方案，可以成功地执行而不会陷入任何不一致。

关键词 - 咯咧分析仪，电磁兼容性测量，传导发射测量，测量仪器验证。

I. 简介

咯咧[2]是一个瞬态（不连续）干扰，产生一个准峰值（QP）指示超过传导发射的 QP 限值，持续时间小于 200 毫秒，且与前一个或后一个短暂干扰相隔超过 200 毫秒。不符合上述三个条件的瞬态干扰“不是咯咧”。非连续性干扰分析仪（DDA）是一种专门设计用于自动评估 B 波段（150 kHz - 30 MHz）瞬态干扰的测量仪器。为此目的，必须由 DDA 分析 QP 指示和视频输出（即，中频滤波器的包络检测输出）。例如，考虑图 1 中所示的瞬态干扰，其中包括持续时间为 110 μ s 的孤立脉冲，其幅度比 QP 限值高出近 30 dB（电平以 QP 限值为基准，因此其值为 0 dB）。

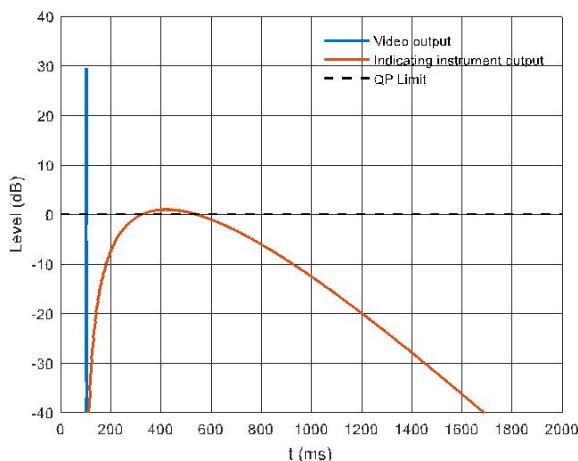


图 1. 测试信号 1 用于干扰分析仪性能测试 [2].

这种瞬态干扰会产生一个 QP 指示(显示仪器输出)，它超过 QP 限值 1 dB（峰值指示在图 1 中其实不容易看出）

所以当然是一个咯咧声。现在考虑图 2 中显示的瞬态干扰，它包含一个独立的持续时间为 1333ms 的脉冲，并且该脉冲幅值高于 QP 限值 1dB 稍多一点。但是这个瞬态干扰就不是咯咧声因为他的持续时间（1333ms）是超过 200ms 的。

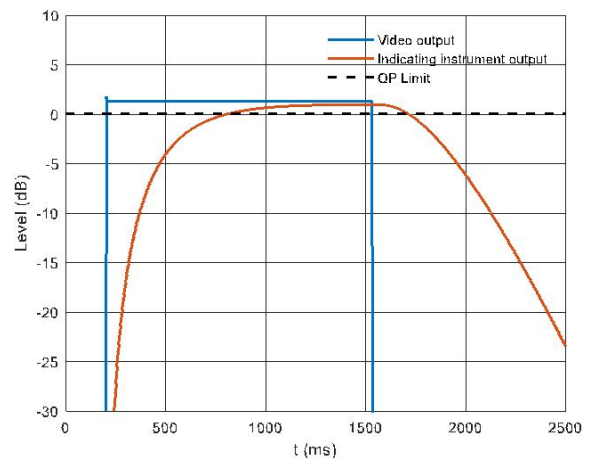


图 2. 测试信号 4 用于干扰分析仪性能测试 [2].

另一个瞬态干扰不能被划分为咯咧声的例子如图 3.

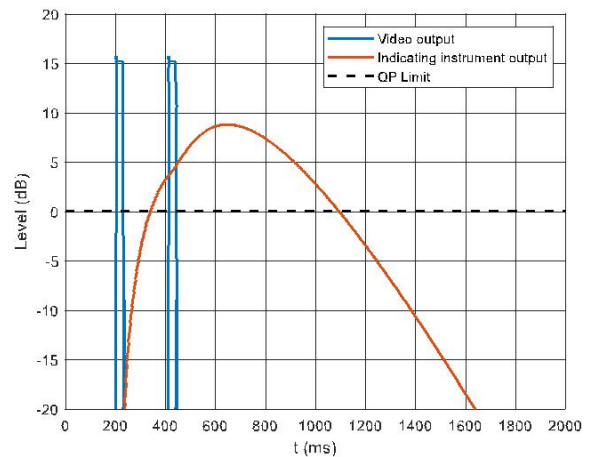


图 3. 测试信号 6 用于干扰分析仪性能测试 [2].

两个持续时间 30 ms 的瞬态干扰，视频输出幅值 15 dB 并且间隔为 180 ms，产生了一个超出 QP 限值 8dB 的指示。这两个瞬态干扰的叠加会被看做一份持续时间为

240ms 的瞬态干扰这样就不是一个喀喇声了（持续时间大于 200 ms）。但是若果两个干扰的间隔不是 180ms 而是 130 ms 叠加起来就会被划分为一个喀喇声（这样持续时间就是 190ms）。最后，如果两个瞬态干扰间隔为 210ms，则他们会被视为两个持续时间为 20ms 的喀喇声。

图，图 2, 图 3 中显示的瞬态干扰以及上文中的描述为 CISPR 16-1-1 中要求的 DDA 基本性能验证测试信号 1,4,6,7 及 8。这五个测试信号是由[2]第 9.2 节中定义的 12 个测试信号形成的较大集合的子集。根据 CISPR 14-1 [4.2] 的 4.2.3, [2]的规范性附件 F 要求另外一组 12 个测试信号用于针对喀喇声定义中的例外部分评估喀喇声分析仪性能。假设整套测试信号独立于具体实施和技术，足以评估 DDA 的充足性。这就是所谓的 CISPR 16-1-1“黑盒子”规范方法 [2]。显然，即使[2]中的规范独立于 DDA 的具体实现，它们也不可避免地反映了规范设定时的技术水平。

这项工作的范围是反驳[1]中提出的不一致性的主张，同时提出自动检测瞬态干扰的持续时间和间隔的解决方案，这些解决方案可以成功地执行而不会陷入任何不一致。

本文将大量使用数字化图表，以便于读者掌握这个非常具体的主题背后的概念。数值分析是通过 Matlab 控制中频 (IF) 滤波器（两个级联的临界耦合调谐变压器），QP 检测器和指示仪器动作的基本方程来实现的。这些基本方程是 (A.1b) (IF 滤波器的脉冲响应的包络)，(A.9) (控制 QP 检测器响应的微分方程) 和 (A.10) (控制指示仪器响应的微分方程)。本文的两位作者实际上已经实现了两个独立的 Matlab 实现，它们提供了相同的结果，因此它们是相互验证的。

这项工作的结构如下：在下一节第二节中，回顾了不一致的主张，并提出了反驳意见。在第三节中，描述了两个选项，用于自动检测瞬态干扰的持续时间和时间间隔。第四节推导出结论。

II. 不一致性的声明及重新判断

在[1]中提出的不一致性声明涉及测试信号 2 和 3。这些测试信号被设计用于验证喀喇声分析仪针对叠加到连续干扰的瞬态干扰的性能测试。连续干扰包括一系列脉冲突波，具有 200Hz 的重复频率，和可以产生 -2.5dB QP 指示的幅值。瞬态干扰具有 9.5ms (测试信号 2) 或 190ms (测试信号 3) 的持续时间和幅度，以便在没有连续干扰的情况下产生 +1dB QP 指示。

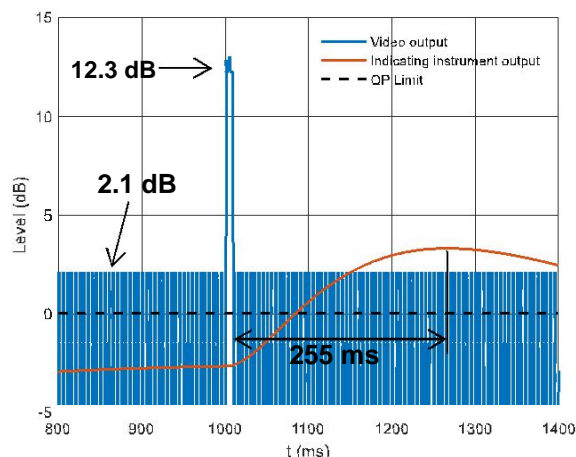


图 4. 测试信号 2 用于干扰分析仪性能测试 [2]。连续干扰的水平为超出QP 限值 dB。瞬态干扰的峰值（持续时间为 9.5 ms）为 12.3 dB。QP 指示的峰值从瞬态干扰的下降沿延迟 255 ms。

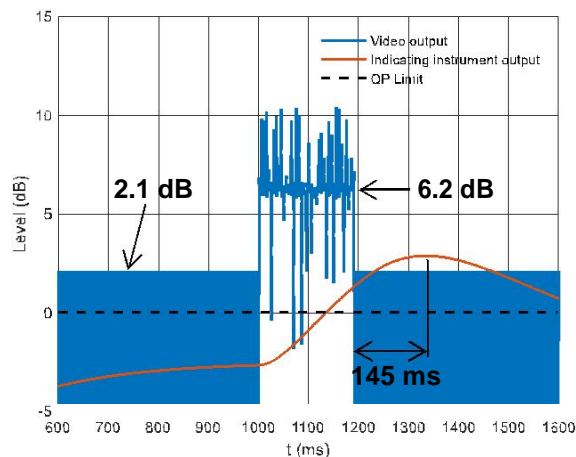


图 5.用于干扰分析仪性能测试的测试信号 3 [2]。连续干扰的水平比 QP 限值高 2.1 dB。瞬态干扰的峰值（持续时间为 190 ms）为 6.2 dB。QP 指示的峰值从瞬态干扰的下降沿延迟 145 ms。

对应于测试信号 2 和 3 的视频输出和 QP 指示分别在图 4 和图 5 中标识出。每个单脉冲的形状（以对数垂直标度）如图 6 所示。注意，脉冲的峰值比 QP 限值高 2.1 dB，其持续时间，与峰值相差 -20 dB，约为 180 μ s。这些测试信号的特性是，由于连续干扰导致的 QP 指示低于 QP 限值（2.5 dB），而视频输出超过 QP 限值（2.1 dB）。这些测试信号实际上是为了在被测设备（EUT）通过传导发射测试的情况下挑战 DDA，但同时需要对不连续干扰进行评估 [2]。挑战在于在存在连续干扰的情况下正确地测量喀喇的持续时间，该干扰产生超过 QP 限值的视频输出水平。

确实应在视频输出端测量持续时间和间距，仅考虑超过 QP 限值的瞬态干扰部分[2]。该时间间隔测量最初是通过示波器进行的，示波器的触发电平恰好位于连续干扰的水平之上。因此很明显，瞬态干扰的峰值与连续干扰的水平之间的差异越小，测量就越关键，特别是对于实现原始示波器测量技术的自动系统。

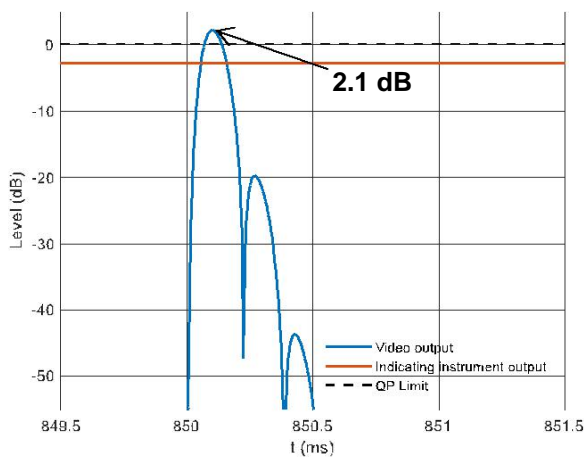


图 6. [2] (对数垂直刻度) 的测试信号 2 和 3 所采用的连续扰动的单脉冲。从峰值开始的 -20 dB 水平的持续时间约为 180 μ s。脉冲峰值高于 QP 限值 2.1 dB (0 dB)。

请注意，测试信号 2 (10.2 dB) 和测试信号 3 (4.1 dB) 之间的差异较大，但两者之间测量到的持续时间（精度为 5% [2]）差异也很大（间隔分别为 9.5 毫秒和 190 毫秒）。因此，测试信号 2 和 3 实际上都具有挑战性。

[1] 中的不一致性声明源于以下对持续时间的解释（第 II 节，最后一段）：“如果 QP 幅值高于 QP 限值，则喀咧的持续时间被确定为 IF 输出高于 QP 的时间。” [1] 和 [2] 中的 IF 输出就是我们所说的视频输出。根据持续时间的这种解释，高于 QP 限值的整个视频输出信号被用于测量检测持续时间。因此，由于连续干扰本身高于视频输出的 QP 限制，因此导致 QP 指示超过 QP 限制的任何瞬态干扰被分类为非喀咧声，而与其持续时间无关。[1] 中的结论是，通过测试信号 2 和 3 进行 DDA 评估的结果与标准中所述的结果相反，而不是由于相同的喀咧定义而导致的喀咧。

让我们验证 [1] 中持续时间的预期是否与标准中指定的相同。在 [2, 第 9.2 条, 第一句] 中，声明“分析仪应配备一个通道来测量非连续性扰动的持续时间和间隔”。因此，DDA 应量化的持续时间和间隔是瞬态干扰的持续时间和间隔。因此，DDA 应量化的持续时间和间隔是瞬态干扰的持续时间和间隔。通过测量超过视频输出的 QP 限值的整体干扰（连续和不连续）的持续时间，不能轻易地实现这一点。

通过自动检测系统的监测器的能力正确识别如图 4 和图 5 所示的瞬态干扰并确定它们的持续时间，实际上不是立即的。根据 [2]，这是“黑匣子”制造商的任务。

在 [1] 中建议将连续干扰的重复频率增加到 1000Hz，以避免引起所声明的不一致。如果重复频率升高到 1000Hz，则产生与 -2.5dB QP 指示相同的视频输出处的连续干扰的幅值降低到 -0.4dB，即低于 QP 极限，参见图 7。

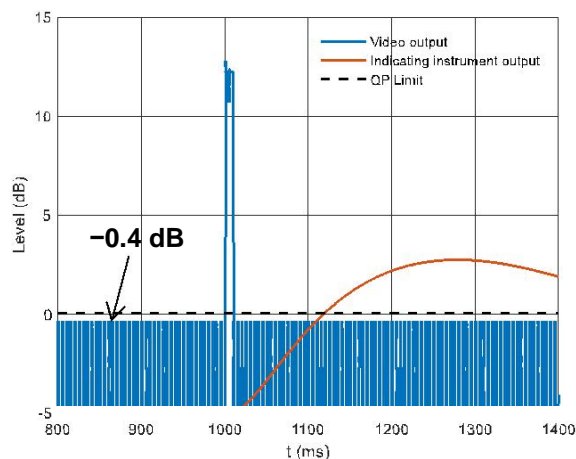


图 7. 与图 4 相同，但是在连续干扰的 1000Hz 重复频率的情况下。连续干扰的水平（产生 -2.5 dB 的 QP 指示）降低到 -0.4 dB。

通过这种连续干扰的选择，毫无疑问地消除了 [1] 中所提到的不一致性，但同时也失去了测试信号 2 和 3 的重要性。换句话说，如果连续干扰的重复频率从 200Hz 变为 1000Hz，则测试信号 2 和 3 变得无用。

在 [2] 中做出的选择不是描述特定 DDA 的实现，而是定义一组测试信号，如果由商业 DDA 正确解读，则对其在现场的正确性和一致性为提供高可信度。这并不意味着标准是不容置疑的。例如，“在 IF 通道中最后一个下降沿之后 250ms 测量准峰值通道中的幅值”的要求似乎不适用于测试信号 2 和 3，其中形成连续扰动的每个脉冲都具有相关联的下降沿。此外，要求 QP 指示在精确的时刻（在视频输出的最后下降沿之后 250ms）被采样与“黑匣子”方法相矛盾。最后，请注意，QP 指示的峰值相对于瞬态干扰的最后下降沿具有可变延迟（例如，参见图 4 和图 5），因此选择 250ms 延迟不似乎是确定无疑的。

III. 自动检测持续时间和间隔时间

这里提出了两个选项，用于自动检测持续时间和瞬态干扰的间隔。第一种选择是基于动态阈值的使用。此选项是在多个商业 DDA 中实现的选项。第二种选择是基于通过运行平均值对视频输出进行数字处理。在[1]中也提出了第二种选择，以避免引起所声称的不一致。虽然[2]中的当前测试信号集确保了第一个选项（动态阈值）的正确实现，但在第二个选项（运行平均值）的情况下，似乎需要一个额外的测试信号。

A. 动态阈值

阈值的调整基本上与连接到接收器的视频输出的示波器的触发电平调整相同，以便测量瞬态干扰的持续时间和间隔。基本上存在两个控制参数：当存在显着的连续干扰时设置阈值的视频输出电平 Δ ，和连续干扰被认为明显的 QP 指示 δ 的电平。如果连续干扰超过 δ ，则阈值从 0dB 增加到 Δ （因此阈值是动态的，即不是静态的）。例如，参数 Δ 可以设置为等于 4dB。这由图 5 建议，因为 4 dB 大约在连续干扰的峰值水平（2.1 dB）和瞬态干扰的峰值水平（6.2 dB）之间。 δ 的一个方便的值可能是 -4 dB（这更多地基于经验而非打击证据）。调整动态阈值的算法（此处未公开）将这些参数作为输入并包括一些滞后，以避免阈值间歇地在 0dB 和 Δ 之间反弹。

值得注意的是，静态阈值水平 $\Delta = 4$ dB 允许成功“触发”[2]中除测试信号 4 之外的测试信号所产生的所有瞬态干扰，这是故意引入以暴露这种可能不希望出现的设置。测试信号 4 包括非常长的瞬态（1333ms），其产生 QP 指示和高于 QP 限值 1dB 的视频输出。如果阈值静态设置在 4dB 的水平或大于连续干扰的视频输出电平（即 2.1dB，如图 4 和图 5 所示），则不能触发这种瞬态干扰。这意味着[2]中的测试信号是专门用于检查动态阈值的操作。

B. 运行平均值

如果以这样的方式处理视频输出以将连续干扰衰减到低于 QP 限值的水平，同时不影响瞬态干扰，则可以采用 QP 限值水平的静态阈值。这种选择包括具有合适时间常数的数字低通滤波器，可以通过采集样本的运行平均值轻松实现。运行平均滤波器的时间常数是 $\tau = NT_s$ 其中 N 是计算平均值的样本数， T_s 是采样周期。

由于 IF 滤波器的脉冲响应持续时间为 $180 \mu s$ （见图 6），因此，为了显著衰减连续干扰，时间常数应具有相同的数量级。例如，如果选择 $\tau = 120 \mu s$ ，则连续干扰降低到仅低于 QP 限值 0.3 dB 的水平。参见图 8 并与图 5 进行比较。

[2]中的测试信号具有瞬态干扰，其持续时间相对于 τ 比较长，除了持续时间为 $110 \mu s$ 的测试信号 1 以外。然而，在这种情况下，所需的 DDA [2, 表 F.1] 的评估是小于 10 毫秒的持续时间，这通过滤波的视频输出肯定可以满足。因此，需要额外的测试信号专门用于验证运行平均滤波器的时间常数不会太长。

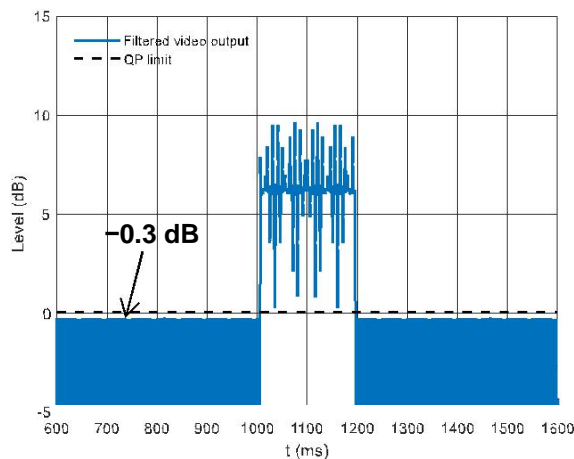


图 8.在[2]中的测试信号 3 的情况下，具有 $120 \mu s$ 的时间常数的运行平均滤波器对连续干扰的影响。

如在视频输出中所见，这样的测试信号可以包括脉冲冲突波，其脉冲幅值从大于 QP 限值的峰值减小到 QP 限值，如图 9 所示。

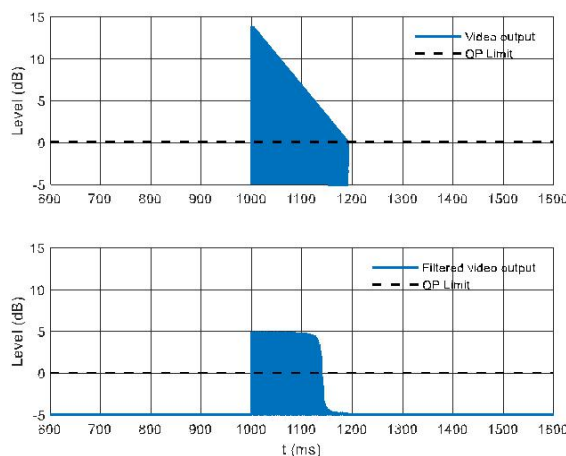


图 9. 一种可能的测试信号，用于检查运行平均滤波器的时间常数。原始视频输出（上图）和滤波后的视频输出（下图）如图所示。

图 9 中所示的测试信号（上图）包括脉冲冲突波，其间隔 $500 \mu s$ 并且线性减小的幅度（以对数垂直标度）大约

14dB 并且持续时间为 190ms。突波产生的 QP 指示超过 QP 限值 1 dB。突波的特定形状使其适合于检查低通滤波器的性能，因为滤波突发的持续时间基本上取决于滤波器的时间常数。在图 9（下图）中，示出了视频输出处理的效果，其导致突发的持续时间从 190ms 减少到 138ms。

IV. 总结

测试信号 2 和 3 设计用以检查 DDA 辨别叠加到连续干扰的瞬态干扰的能力。这里的结论是它们是可以接受的，并且如[1]中所述，它们不是“根据定义无法应对”的。此外，使用动态阈值来测量持续时间和瞬态干扰的间隔是[3]中明确允许的从设计的一开始就考虑的一个选项，见 5.4.3.7 和资料性附录 C，条款 C.3.2。

尽管在不高于 QP 极限 2.5 dB 的任何水平上存在连续干扰，但振幅使得指示仪器超过 QP 限值水平的喀喇声可以被精确地处理。特别地，我们表明，通过非常简单的算法，可以处理 CISPR 接收器视频输出，使得：1) 连续干扰被压缩到 QP 限值以下；2) 超过 QP 限值的不连续干扰保持不受影响，并且可以根据需要进行分类和测量。

参考文献

- [1] Mario Monti, Elena Puri and Massimo Monti, “Inconsistency in CISPR 16-1-1 performance tests for disturbance analyzers”, in Proc. 2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2018), Amsterdam, The Netherlands, Aug. 27-30, 2018, pp. 477-481.
- [2] CISPR 16-1-1:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*, ed. 3.0.
- [3] CISPR 14-1:2016, *Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission*, ed. 6.0.