

调试 EMI：是峰值、不是峰值

了解：

- 执行 EMI 诊断和调试所需的工具。
- 使用 MDO4000 系列混合域示波器，它把频谱分析仪、示波器和逻辑分析仪整合到一个工具中，使 EMI 调试变得比以前更加简便。

EMI 诊断 – 什么是 EMI 诊断？

EMI 诊断是识别不想要的辐射或干扰源、并解决问题的过程。在设计人员怀疑设计中可能存在 EMI 问题，或者在 EMI 实验室中扫描失败以后，都要执行 EMI 诊断。不管是哪种情况，应用都是相同的。首先使用频谱分析仪扫描认为有问题的物理区域，频谱分析仪通常会带有近场探头 / 天线，确定当前问题的位置和范围。解决 EMI 问题的方案包括对设计应用屏蔽、重新设计现有屏蔽罩、通过改变布局或元器件位置降低来源处的 EMI、或者可能会改变固件控制来源行为的方式。不管是哪种方案，在设计变化之前、之后及之中，都必须评估设计的辐射，以确定修复方案是否成功。

完成工作需要哪些东西？

- EMI 诊断工作几乎一直要使用 **EMI 频谱分析仪**，在 RF 频谱中分隔出各种频率，确保找到干扰频率来源，降低其幅度。
- 在使用频谱分析仪缩小范围后，经常要使用 **示波器**，评估电源和数字电路中的 EMI 来源。
- 还可能会使用 **逻辑分析仪**，确定 EMI 是由特定逻辑状态引起的，还是由被测器件中可能存在的软件错误引起的。由于一个设计中的模拟电路、数字电路和 RF 电路之间交互更加复杂，EMI 变得更加具有瞬态特点，示波器和逻辑分析仪也变得越来越常用。
- 必须使用 **探头**，捡拾被测器件附近的信号，或捡拾直接连接到电路上的信号。

EMI 诊断中选择使用的 **频谱分析仪** 可能会不同于预一致性测量应用和一致性测量应用中使用的频谱分析仪或 EMI 标准接收机。在执行预一致性测试时，您可能需要有正确的滤波器、检测器和平均功能。频率精度、

幅度精度、极限线测试和动态范围可能要更重要。一致性测试工具和预一致性测试工具通常检验是否存在问题，但可能不能诊断问题的根本原因。在诊断工作中，需要识别和调试辐射来源，这些需求推动着频谱分析仪要求。下面说明了诊断要求：

- **频率范围**：对大多数商业设计来说，会在 1 GHz 以下执行 EMI 诊断。视法规要求或设计性能，您可能需要更高的频率范围。为把频谱事件与设计中的数字信号和模拟信号关联起来，能够捕获宽 (>1GHz) 瞬时带宽的频谱分析仪是一个优势。这有助于显示各种频率上的辐射是否都指向一个共同的问题或来源。
- **频率精度**：为找到关心的信号，在 1 GHz 时好于 ± 10 kHz 的频率精度对几乎所有情况都已经足够了。
- **峰值检测和 Max-Hold**：这确保找到干扰信号的峰值，并保持在屏幕上，在日后再与改进产品的输出进行对比。由于只执行相对测量（修复前和修复后），分析仪不一定要有满足标准的准峰值检测器、滤波器或平均功能。这些 EMI 功能只改变绝对功率测量，而不改变相对测量，因此在诊断和调试过程中几乎没有价值。
- **灵敏度**：对诊断应用来说，几乎所有低档和中档频谱分析仪都有足够的灵敏度。视探头和信号电平，可能需要前置放大器。
- **动态范围**：诊断应用很少有苛刻的动态范围要求。被评估的信号一般是屏幕上的大信号，60 dB 的动态范围一般来说远远足够了。
- **幅度精度**：EMI 诊断测量是在应用修复前和应用修复后进行的相对测量。绝对精度并不关键，但可重复性非常关键。对这种工作来说，几乎所有频谱分析仪都有足够的精度和可重复性。

EMI 诊断使用的 **示波器** 必须有足够的带宽和通道数，以考察关心的电路，在设计修复前和设计修复后，进行定时测量和电平测量。一般来说，使用的示波器是设计实验室中已经使用的示波器，设计实验室的要求是选择过程的推动因素。

调试 EMI：是峰值、不是峰值

■ 应用案例

- **带宽：**必须能够测量设计中存在的信号的电平和定时。导致 EMI 问题的大多数信号的时钟频率都低于 1 GHz，问题中特定频率的需求可能会引导带宽选择。但是，由于示波器也可以作为通用工具使用，其它需求也可能会推动仪器选择。
- **通道数量：**4 通道示波器在设计应用中最为常用，对 EMI 诊断足够了。

逻辑分析仪要求一般是由设计实验室的需求推动的，使用的逻辑分析仪一般是市场上已有的逻辑分析仪。对 EMI 诊断来说，逻辑分析仪主要是能够考察瞬态 EMI 事件期间发生了哪些活动。逻辑分析仪的考虑因素包括：

- **带宽和通道数：**这一要求一般是由其它需求推动的，而不是 EMI 诊断。满足设计需求的任何逻辑分析仪都足够了。MSO 或 MDO 的逻辑通道功能一般能够满足 EMI 诊断需求。
- **总线和解码支持：**逻辑分析仪必须能够触发设计中的信号，能够解码设计使用的总线。这一需求也是由被测器件的设计和性能推动的。

EMI 使用的**近场探头**是电磁拾取装置，用来捕获关心区域的电场 (E) 或磁场 (H)。

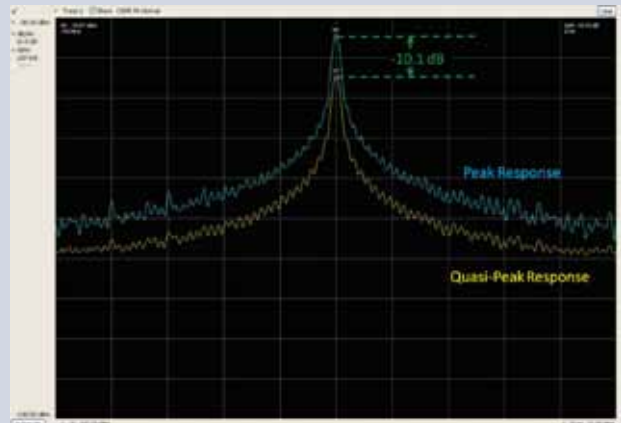
制造商销售一系列探头，这些探头在尺寸、灵敏度和频率范围之间实现了最好的折衷，您可能需要在工具箱中放上所有规格的探头，才能解决问题。是选择磁场探头还是电场探头，可能取决于设计中的信号位置或供电特点（是电压还是电流）。例如，存在金属防护罩可能会抑制电场，应用中可能必需使用磁场探头。

电压探头与示波器和频谱分析仪一起使用，直接连接关心的电路。传统示波器探头可以与频谱分析仪一起使用，但会产生灵敏度损失，具体视探头的阻抗而定。例如，连接到 50 欧姆频谱分析仪上的 500 欧姆 Z0 示波器探头将产生 10:1 分路器，把频谱分析仪输入上的信号降低 20dB。然而，在直接连接到电路上时，信号一般很大，即使信号电平下降，频谱分析仪仍能看到信号。此外，频谱分析仪的典型灵敏度要比示波器好几个量级，因此探头损耗很少成为限制因素。

您是否需要准峰值检测？

可以使用简单的峰值检测器，进行 EMI 测量。但是，EMI 部门或外部实验室使用准峰值 (QP) 检测器。因此，您会怀疑是否也需要 QP 检测器。

在开始测试时，EMI 部门或外部实验室一般先使用简单的峰值检测器，找到超过或接近规定极限的问题区域。对接近或超过极限的信号，他们执行 QP 测量。QP 检测器是 EMI 测量标准规定的一种专用检测方法。QP 检测器用来检测信号包络加权后的峰值（准峰值）。它根据时长和重复率对信号加权。发生频次较高的信号得到的 QP 测量值要高于发生频次较低的脉冲。



上图是峰值检测和 QP 检测实例。这里，在峰值检测和 QP 检测中都能看到 8 μ s 脉宽和 10 ms 重复率的信号。得到的 QP 值比峰值低 10.1 dB。

应该记住的一个好的规则是，QP 将一直小于等于峰值检测，而永远不会大于峰值检测。因此，您可以使用峰值检测，进行 EMI 调试和诊断。您没必要精确到 EMI 部门或实验室扫描，因为它总是相对的。如果您的实验室报告显示设计高出 3 dB，峰值检测高出 6 dB，那么您需要实施修复方案，把信号降低 -3 dB 或更多。

应用实例



图 1: 泰克 MDO4000 系列把频谱分析仪、示波器和逻辑分析仪组合到一台仪器中，从所有三台仪器中生成时间相关测量。

下面的应用实例使用集成频谱分析仪、示波器和逻辑分析仪的泰克 MDO4000 系列，确定 EMI 问题的根源。一旦了解问题，可以实施修复，并重新测量干扰信号电平，确定变化效果。这一应用分为三步：

- 在物理上识别问题位置
- 在电气上识别问题根源
- 测量再设计的效果



图 2: 使用近场探头，发现干扰信号的峰值位置。

使用频谱分析仪确定 EMI 问题。在本例中，我们发现宽扫描中最高的峰值是 137 MHz 附近的瞬态峰值。我们使用 MDO4000 频谱分析仪和近场探头，发现问题的最坏位置在电路中 FPGA 一侧周围，如图 2 所示。

我们使用频谱分析仪上的 Max-Hold 和正态检测器观察信号，很快显示这是一个变幅信号，随着时间推移，幅度移动了大约 12 dB。图 3 显示了在宽频宽内峰值条件和最小条件下的信号。

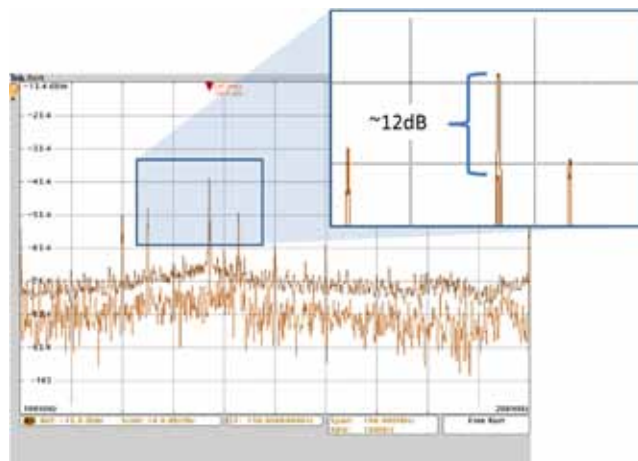


图 3: 在 Max-hold 中，在 137 MHz 处使用峰值检测捕获的信号。细节显示信号有时提高 ~12dB。

这类瞬态辐射是调试起来最麻烦的某些信号。如果使用传统频谱分析仪，几乎没有什么工具可供调试这个问题，调试现在走进了死胡同。

通过 MDO4000，您距找到问题、并使用测量进行验证只有一步之遥。MDO4000 的触发系统的触发源之一包括 RF 功率。考虑到这个信号很大，随着时间推移显著变化 (~12dB)，它可能会被用来触发仪器。通过正确设置 RF 功率触发，可以观察信号的时域特点。

MDO4000 中的触发系统控制着所有输入上的采集：4 个模拟示波器输入、16 个数字输入以及 1 个频谱分析仪输入。因此，一次采集包含这些输入开关信号活动的无缝时间捕获。您可以在一个时间相关画面上，观察所有这些信号的活动。在本例中，通过触发瞬态 RF 信号，我们现在可以观察 RF 信号的时域特点，以及电路板上的周围信号。

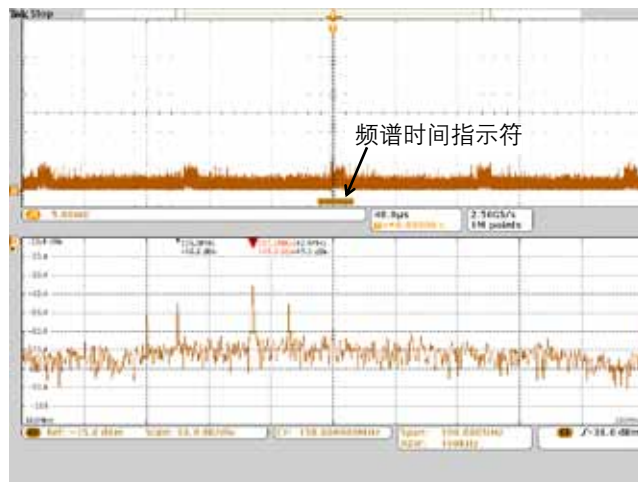


图 4: RF 幅度随时间变化曲线显示不同时间上的周期突发能量，频谱中显示了频宽。

调试 EMI：是峰值、不是峰值

▪ 应用案例

仪器记录不同时间中频谱分析仪输入上的信号，能够观察频谱怎样随时间变化，以及 RF 幅度、频率和相位随时间变化。图 4 显示 MDO4000 显示画面中增加了 RF 幅度随时间变化轨迹。

屏幕中间看到的短横“条”，就在 RF 幅度随时间变化曲线下面，称为频谱时间指示符。这个横条表明被测量的频谱(如下方窗格所示)采集内部的特定时间周期。在这个图中，频谱时间指示符的位置与屏幕中心所示的 RF 能量突发一致。您可能会怀疑显示的每个突发将与 ~137 MHz 处观察到的瞬态信号峰值对应。频谱时间指示符可以在采集内部来回卷动，观察 RF 信号在不同时间点的频谱是什么。图 5 显示了频谱时间向右移动大约 $50\ \mu\text{s}$ ，因此它位于两个突发之间。通过检查这两种情况下的频谱轨迹，可以明确看出 137 MHz 处的信号电平在这个位置大约低 12dB。这证实了 RF 幅度随时间变化中观察到的突发对应着 137MHz 信号的瞬态提高。

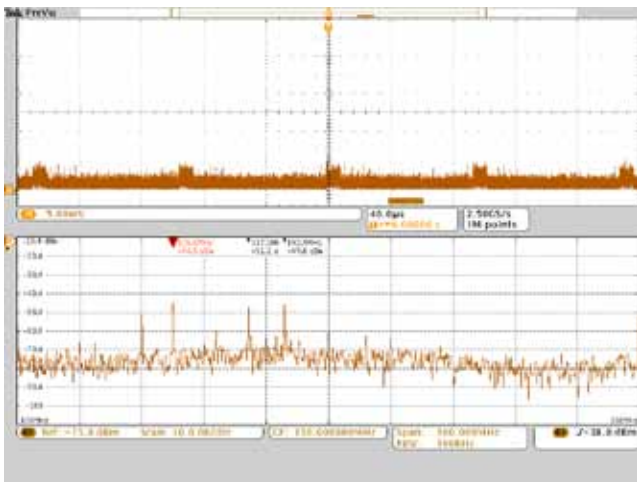


图 5：频谱时间指示符在 RF 突发之间移动。在这个时间位置，137MHz 信号电平低 ~12dB。

在确定了 137 MHz 突发的周期性特点外，我们可以把注意力转向识别这个瞬态信号的潜在根本原因。电压探头被连接到 CH1，CH1 轨迹被增加到显示画面中。在触发 RF 信号的同时，可以观察电路板上的其它电压。相对于 RF 幅度随时间变化，与麻烦的 RF 突发不相关的任何信号都将显示为不同步或不稳定，而与突发一致的任何信号都将是稳定的，并与突发排成一行。

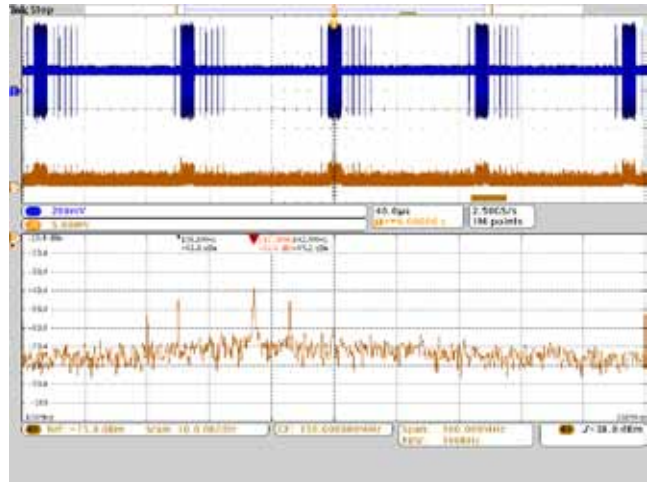


图 6：通道 11 显示了 USB_HS 头部的电压。很明显，这个头部的高速数据突发与 137 MHz 处的突发能量一致。

图 6 显示了来自 CH1 上电路板中 USB_HS 头部的信号。很明显，这个信号上数据的高频突发与 RF 能量突发完全一致。从这里，我们可以得出结论，USB_HS 端口上这个高速数据突发的生成和传输与 137 MHz 的瞬态辐射一致。

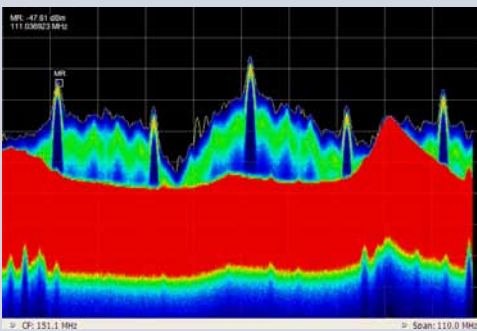
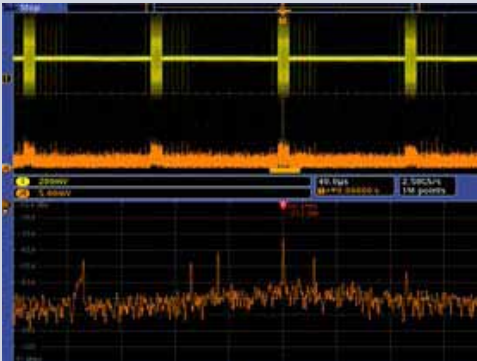
必需指出，与 RF 辐射一致的信号可能并不是辐射的实际来源，但可能是一条线索，帮助您找到实际来源。在本例中，被检测的 USB_HS 信号距拾取 RF 信号的 FPGA 位置为 3”。此外，USB_HS 突发在 137 MHz 处不包含能量。这可以明确，FPGA 为创建这个 USB_HS 数据所执行的活动导致其在 137 MHz 处放射出更高的能量。如果不能如本图所示，对 RF 信号与电路板上的其它信号实现时间相关，那么将很难或不可能获得了解瞬态 EMI 来源的这类信息。

测试修复方案：

在知道了问题的根源后，可以通过改动，来解决问题。通过重新设计电路板、在电路板上放置 RF 抑制器件，可能会修复这个问题，设计可能要求屏蔽罩，或改变固件。不管选择哪种缓解措施，都必须评估变动的效果。其实现方式是使用近场探头重复 EMI 问题的初始测量，然后测量在信号电平中所做变化带来的差异。

EMI 诊断和预一致性测试

缩短解决 EMI 问题所需的时间



您从未规划过的解决 EMI 问题的省时方案。当今最大的 EMI 挑战是识别 EMI 问题的位置和来源，捕获瞬态 EMI 事件。泰克混合域示波器把混合信号示波器的功能和频谱分析仪融合在一起，捕获模拟信号、数字信号和 RF 信号，并实现时间相关，在系统级全面查看器件中一致的事件。当频域发生事件时，泰克实时频谱分析仪能够查看、触发和分析最简短的信号的影响，并包括极限行扫描以及通过 / 失败测试、EMI 滤波、检测器和平均功能，提供高信心预一致性测试。

了解更多：www.tektronix.com

总结

执行 EMI 诊断是许多设计人员需要做的工作的一部分。常用工具有传统频谱分析仪和近场探头。在诊断中，还可能会用到示波器和逻辑分析仪。通过使用 MDO4000 系列，对模拟信号和数字信号提供时间相关频谱分析，您可以比传统工具更精确、更快速地隔离问题。MDO4000 是一种功能强大的、灵活的仪器，最大限度地缩短找到干扰源所需的时间。