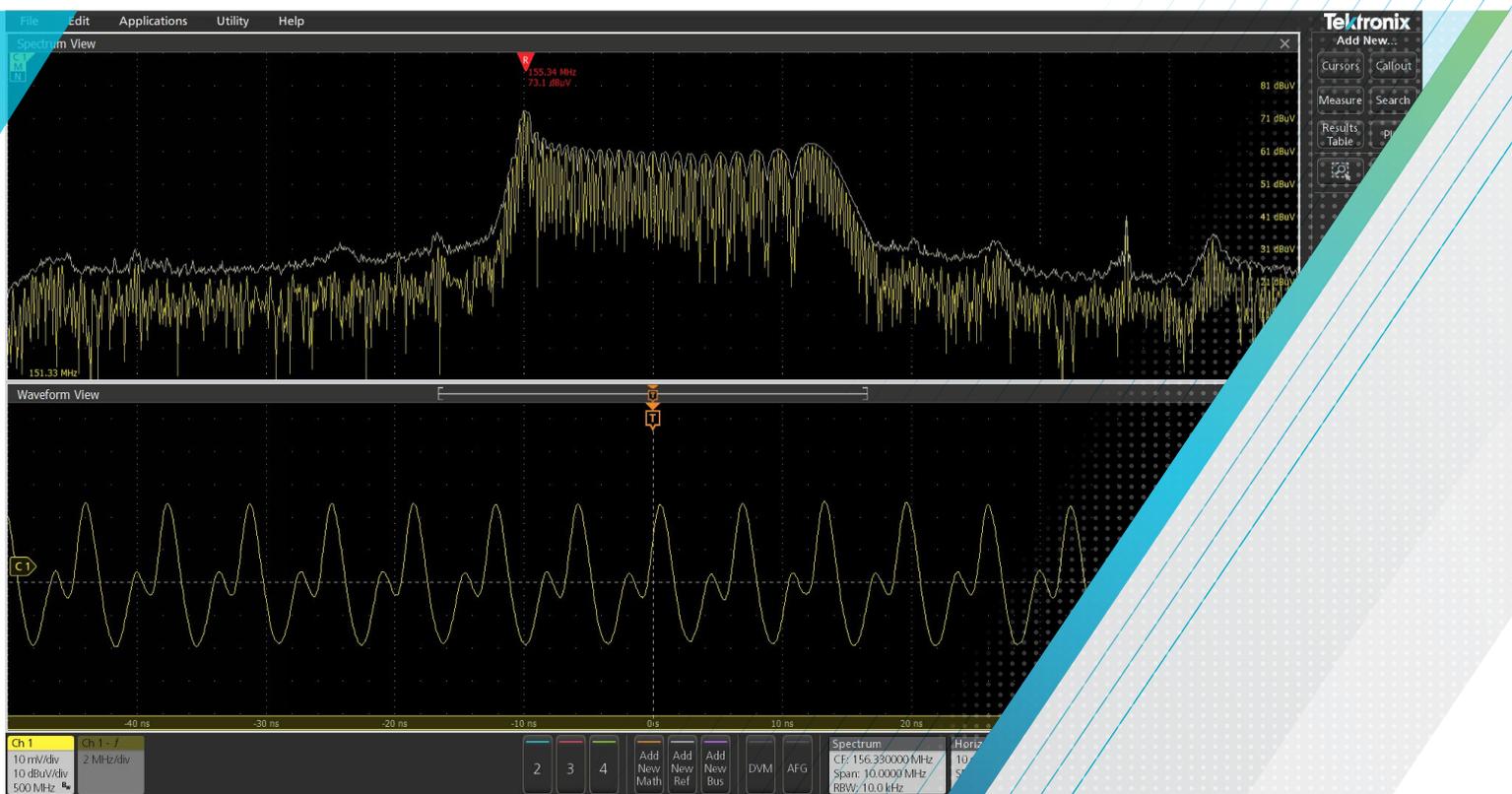


# 使用4、5和6系列 混合信号示波器 逐步排除电磁干扰故障

## 应用说明



在销售商业或消费电子产品以及军用和航空航天设备之前，必须解决电磁兼容性 (EMC) 和相关的电磁干扰 (EMI) 问题。电磁兼容性或电磁干扰的合规性往往被搁置到项目的最后阶段，而最后一刻的失误往往会导致进度延误、计划外的成本增加以及工程团队的压力。掌握正确的工具和技术有助于避免问题的发生，并在问题发生时迅速加以解决。

简而言之，辐射发射是对辐射电磁场的测量，而传导发射则是对被测产品、设备或系统发出的传导电磁干扰电流的测量。根据设备的设计工作环境，全球范围内对这些辐射的上限都有相应限制。

如今，包括无线和移动设备在内的消费电子产品层出不穷，设备之间的兼容性变得更加重要。产品之间不得相互干扰（辐射或传导发射），而且在设计上必须不受外部能源的影响。大多数国家现在都强制对产品进行各类 EMC 标准测试。

#### 应用说明

- 旨在帮助产品设计师或 EMC 工程师学习 EMC 和 EMI 故障排除和调试基础知识
- 介绍 EMI 故障排除的三个步骤
- 概述了辐射和传导辐射故障排除，包括设置提示
- 解释如何解释测量数据
- 介绍在测试过程中处理环境射频的技巧
- 提供了几个使用时间相关波形和频谱的详细故障排除示例

该应用程序说明了如何使用内置数字下变频器 and 频谱视图的 4/5/6 系列混合信号示波器。这项专利技术使您能够同时查看所有模拟信号的模拟和频谱视图，并在每个领域中拥有独立控制。频谱视图使基于示波器的频域分析像使用频谱分析仪一样简单，同时保留了将频域活动与其他时域现象相关联的能力。

## 基本定义

让我们从一些基本定义开始，EMC 和 EMI 之间存在微妙的区别。

- EMC 意味着正在开发的设备与预期的操作环境兼容。例如，加固型卫星通信系统安装在军用车辆上时，即使在其他大功率发射机或雷达附近，也必须能够正常工作。这意味着在近距离环境中发射和抗干扰能力都必须兼容。。这通常适用于军事和航空航天产品和系统，以及汽车环境。辐射发射通常测试距离为 1 米。
- EMI (有时也称为射频干扰或 RFI) 更多涉及产品对现有无线电、电视或其他通信系统 (如移动电话) 的干扰。在美国之外，它还包括对外部能源源的免疫，例如静电放电和电力线瞬态干扰。这通常适用于商业、消费、工业、医疗和科学产品。辐射发射通常在 3 米或 10 米的测试距离内测量。本应用说明将重点介绍 EMI 故障排除。

## EMI 故障排除

### EMI 故障排除的三个步骤过程

许多产品设计师可能熟悉近场探头如何用于识别 PC 板和电缆上的 EMI “热点”，但可能不清楚接下来该怎么做。我们以泰克 6 系列混合信号示波器上的频谱视图为例进行说明。下面是一个简单的 EMI 故障排除三步流程。

**第一步** 使用近场探头 (H 场或 E 场) 识别 PC 板和内部电缆上的能量源和特征发射特性。能量源通常包括时钟振荡器、处理器、RAM、D/A 或 A/D 转换器、DC-DC 转换器和其他产生高频率、快速边沿、数字信号的源。如果产品包括屏蔽外壳，则应检查其他接缝或孔隙是否有泄漏。记录每个能量源的发射特性。

**第二步** 使用电流探头测量高频电缆电流。请记住，电缆是最可能辐射射频能量的结构。沿着电缆来回移动探头，最大限度地获取最高谐波电流。记录每根电缆的发射特性。

**第三步** 使用附近的天线 (通常是 1 米测试距离) 来确定实际辐射的谐波信号。记录这些谐波并与近场和电流探头电缆测量进行比较。这将帮助您确定最有可能与电缆或接缝耦合并辐射到天线的能量源。

**步骤 1 - 近场探测** - 大多数近场探测套件都配备了 E 场和 H 场探头。选择 H 场或 E 场探头取决于您将要探测的是电流 - 即高  $di/dt$  - (电路走线, 电缆等) 还是电压 - 即  $dV/dt$  - (开关电源等)。大多数故障排除都是使用 H 场探头进行的, 因为我们通常对追踪高频次谐波电流感兴趣。直径较小的探头分辨率较高, 但可能需要前置放大器来增强其信号。然而, H 场和 E 场探头都可用于定位屏蔽外壳中的漏洞或间隙。

从较大的 H 场探头开始, 围绕产品外壳、电路板和连接的电缆进行嗅探。目标是识别主要的电磁干扰源和主导的窄带和宽带频率。记录观察到的位置和频率特征。当您锁定干扰源时, 不妨换用中等尺寸(1 厘米)的 H 场探头(图 1), 这将提供更高的分辨率(但稍微降低灵敏度)。您可能会发现大多数探测最终都是使用这个探头。

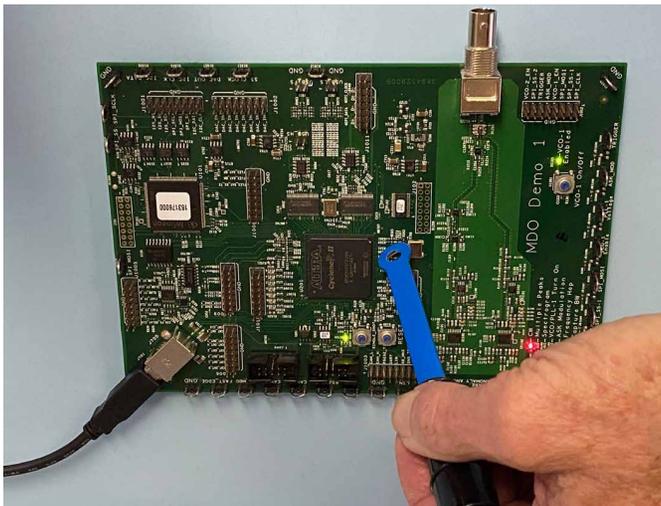


图 1. 使用近场探头有助于确定可能的辐射源

此外, 请注意, 当 H 场探头的平面与走线或电缆平行时, 探头的灵敏度最高(会耦合最多的磁通量)。最好将探头放置在与 PCB 板平面成  $90^\circ$  的位置。请参见图 2。

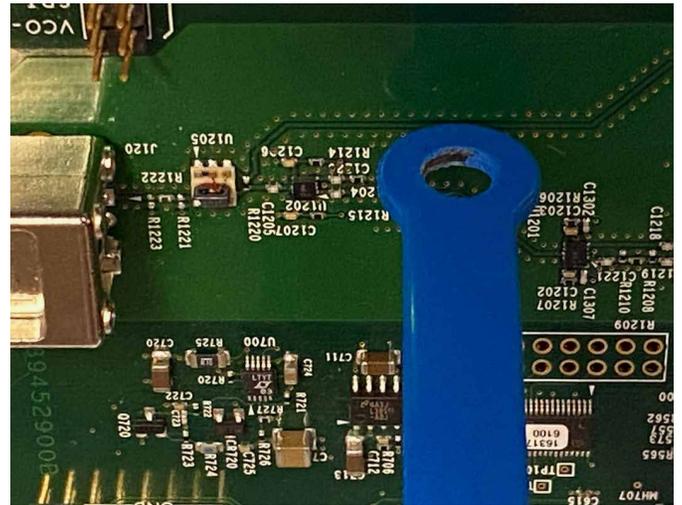


图 2. H 场探头在与电路走线或电缆的相对定位时提供最佳灵敏度, 因为它们通过回路收集最大的磁通线

请记住, 不是所有位于电路板上有高频能量源都会产生辐射! 辐射需要与“天线状”结构(例如 I/O 电缆、电源电缆或屏蔽外壳中的缝隙)某种形式的耦合。

在电路板级别应用潜在修复措施时, 请务必用胶带固定近场探头, 以减少探头尖端的物理位置变化。请记住, 我们主要关注在应用修复措施时的相对变化。

**步骤 2 - 电流探头测量** - 接下来,使用高频电流探头测量附加的共模电缆电流(包括电源电缆),例如 Com-Power CLCE-400 或同等产品(图 3)。记录顶部几个谐波的位置,并与近场探测确定的列表进行比较。这些谐波最有可能会辐射并导致测试失败,因为它们流经类似天线的结构(电缆)。

请注意,只需要 5 到  $8\mu\text{A}$  的高频电流就能使 FCC 或 CISPR B 类测试失败。使用制造商提供的传输阻抗校准曲线将帮助您根据探头端口处的分析仪电压计算出电流。



图 3. 使用电流探头测量在 I/O 和电源电缆上流动的高频电流

将电流探头来回移动以最大化谐波是个好主意。这是因为电缆上的驻波会导致某些频率在不同位置产生共振。

还可以根据线缆中流动的电流来预测辐射的 E 场强度 (V/m),前提是在相关频率下长度为电短路。这在高达 200MHz 的频率下对 1m 长的电缆已被证明是准确的。有关详细信息,请参阅参考文献 1、2 或 5。

**步骤 4 - 使用近距天线故障排除** - 一旦产品的谐波特性完全表征,就该看看哪些谐波实际上会辐射。为此,我们可以使用连接到距产品或待测系统至少 1m 远的未校准天线的 4/5/6 系混合示波器测量实际的辐射(图 4)。通常,这些辐射是来自连接的 I/O 或电源电缆以及屏蔽外壳的接缝或孔隙。将这些数据与近场和电流探头的数据进行比较。实际测量的辐射应该能够表明先前探测所确定的能量来源。

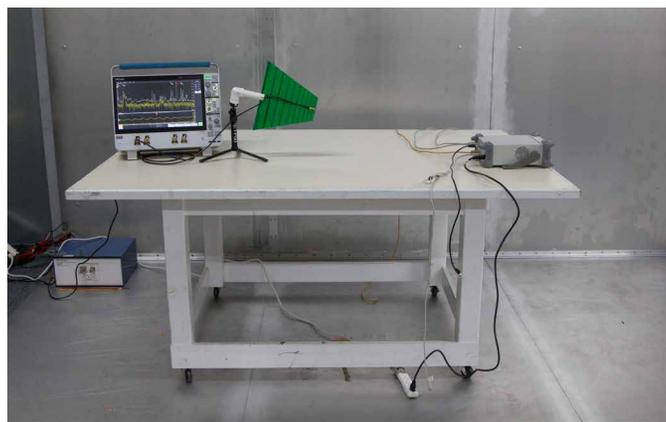


图 4. 典型的辐射发射故障排除测试设置。天线与被测设备之间的距离约为 1 米

尝试逐个拔掉电缆来确定电缆辐射是否是主要问题。您还可以尝试在一个或多个电缆上安装铁氧体扼流圈进行测试。使用近场探头确定屏蔽外壳的接缝或开口是否存在泄漏。

一旦确定了发射源,您可以利用您对滤波、接地和屏蔽的知识来减轻问题辐射。尝试确定从产品内部到任何外部电缆的耦合路径。在某些情况下,电路板可能需要通过优化层堆叠或消除高速信号跨越返回平面间隙等方式进行重新设计。通过使用一定距离的天线实时观察结果,减轻阶段应该会迅速进行。

## 辐射和传导发射故障排除

使用频谱视图对谐波进行基本显示，以及对谐波进行时间相关分析，是排除 EMI 辐射问题最有用的两种技术。对于辐射和传导发射故障排除，请按照上方所述的三步流程进行。

商业或消费类产品的辐射发射测试是根据国际标准 CISPR 11 或 32 进行的，通常是最高风险的测试。

大多数产品的辐射频率在 30 到 1000 兆赫之间。最好的第一步是对 500 MHz 进行初步扫描，因为这通常是数字谐波最严重的频段。您还希望记录至少高达 1GHz（或更高）的发射，以便表征任何其他主要发射。一般来说，减轻较低频率的谐波也将减少更高的谐波。

### 在 4/5/6 系混合信号示波器上设置频谱视图以进行一般辐射发射故障排除

- 将您的近场探头连接到通道 1，双击通道 1 图标以打开菜单面板。将探头阻抗设置为 50 欧姆。
- 使用近场探头，在待测电路板上找到一个样本信号，并调整垂直、水平和触发电平以获得稳定的波形。
- 在通道 1 图标打开时，点击频谱视图选择以打开面板并显示选项。打开显示，并将单位设置为 dBuV。打开 Normal 和 Max Hold 框。Max Hold 表示最大频谱幅度作为参考，有助于与当前测量的频谱进行比较。单击或点击菜单外部以关闭。
- 双击频谱菜单（屏幕右下角）。对于一般故障排除，让我们将频谱视图频率设置为 DC 至 500 MHz。为此，将中心频率设置为 250 MHz，带宽设置为 500 MHz。只需双击每个选择框以打开数字键盘。对于大多数窄带谐波，分辨率带宽从 10 到 20 kHz 开始使用。

- 您可以缩小或展开垂直刻度以显示可读的频谱。
- 请注意，标记阈值可以自定义，并且可以添加标注，用箭头、方框和用户自定义文本来记录具体设置。

在有足够的电源线滤波的情况下，传导发射通常不是问题，但许多低成本电源供应器缺乏良好的滤波。一些普通的“无名”电源供应器根本没有滤波功能！

对于商业或消费类产品的传导发射测试是根据国际标准 CISPR 11 或 32 执行的，将显示传导射频噪声电压。4/5/6 系列混合信号示波器连接到 50 欧姆端口，将显示传导射频噪声电压。不同型号的 LISN 适用于交流或直流供电。

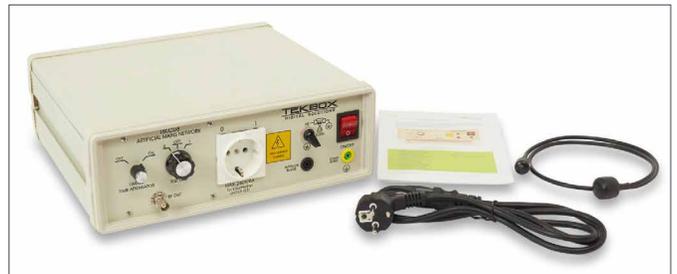


图 5. 典型的线路阻抗稳定网络 (LISN) 用于将线缆传导的电磁干扰耦合到频谱分析仪。照片由 Tekbox Digital Solutions 提供。

理想情况下，您可以根据 CISPR 11 或 32 标准设置测试，如图 7 所示。被测试设备 (EUT) 放置在一个高 80 厘米的木桌上，地面上有一个接地平面。LISN 与接地平面连接，并与 EUT 以及带频谱视图的 4/5/6 系列 MSO。

本应用说明中对传导发射故障排除的描述不太详细，因为其过程与辐射发射测试基本相同。



图 6. 典型的传导发射测试设置

连接线阻抗稳定网络 (LISN)，例如 Tekbox TBLC08，并将其放置在待测试的产品或系统与带频谱视图的 4/5/6 系列 MSO 之间。在桌面故障排除时，最好铺一层铝箔作为接地平面。使用铜箔带将 LISN 固定在铝箔上。将被测设备与接地平面隔离。注意侧边栏中连接的顺序！

**注意：**通常在将 LISN 连接到示波器之前，先给被测设备上电非常重要。这是因为在上电时可能会产生大的瞬态，可能会损坏示波器的敏感输入前置放大器级。请注意，TekBox TBLC08 LISN 具有内置的瞬态保护。并非所有产品都有……

### 设置频谱视图以进行一般传导发射故障排除

使用类似的步骤设置频谱视图以显示 0 至 30 MHz 的频率。将中心频率设为 15 MHz，捕获带宽设为 30 MHz，分辨率带宽设为 9 或 10 kHz。上电被测设备，然后将 LISN 的 50 欧姆输出端口连接到示波器。请注意，谐波频率通常在较低 (kHz) 频率处非常高，在接近 30 MHz 时逐渐降低。确保这些更高的谐波频率不会使示波器过载。根据需要调整垂直刻度或在 Tekbox TBLC08 LISN (如图 6

左下角所示) 上选择瞬态保护器，其中包括 10 dB 衰减器。

频谱视图将捕获峰值检测到的谐波，所需的测试限制将以平均或准峰值的形式给出，因此您将无法直接将测量数据与实际测试限制进行比较。但是，您至少能够确定潜在的问题区域。谐波频率的故障排除过程类似于之前描述的辐射发射测试。

### 分析收集的数据

请记住，并非所有近场信号都会耦合到“天线状”结构并辐射。请注意，在许多情况下，两个或更多源将产生部分 (或全部) 相同的谐波。例如，25 MHz 时钟和 100 MHz 时钟都可以产生 100、200、300 MHz 等的谐波。通常情况下，您需要修复多个源才能消除单个谐波。频谱视图包括一些强大的数据捕获和文档功能，将有助于加快从步骤 1 到 3 的数据收集过程。

在分析谐波并确定最可能的源之后，下一步是确定从谐波源到产品外的耦合路径。通常情况下 I/O 或电源线才是实际的辐射结构。有时，它可能泄漏的接缝或孔隙 (例如显示器或键盘)。

存在四种可能的耦合路径：传导、辐射、电容和电感。后两者 (电容和电感) 被称为“近场”耦合，信号源和受影响者之间距离的微小变化会在辐射能量中产生较大的影响。例如，将一根排线路径安排得太靠近电源散热器 (电容耦合，或  $dV/dt$ ) 并导致辐射发射的情况，只需将排线移到离附近散热器更远的地方，问题就能得到解决。此外，还可以通过重新布线来降低源电缆和受影响电缆之间的电感耦合 ( $di/dt$ )。这两种内部耦合机制 (或类似的 PCB 板设计问题) 都可能导致传导发射 (通过电源电缆) 或辐射发射 (I/O 或电源电缆充当天线或外壳接缝 / 孔隙)。在许多情况下，这仅仅是由于电缆屏蔽与屏蔽外壳的粘合不佳或 I/O 或电源端口缺乏共模滤波而导致辐射发射。

通常，在故障排除发射问题时，您可能已经进行了正式的合规性测试，并知道谐波超限的程度。因此，在故障排除时，相对测量通常比绝对测量更重要。也就是说，如果我们知道某些谐波超出限制 5 到 10 dB，目标就是将这些

谐波至少减少到这个水平或更低，以确保安全余量。因此，不需要校准天线，因为只有相对变化才重要。天线也不一定需要调谐到谐波的频率。重要的是，来自 EUT 的谐波含量应该很容易看到。

## 考虑环境信号

在屏蔽室或半电波暗室之外进行测试时，您会立即遇到的问题是来自 FM 和电视广播发射机、蜂窝电话和双向无线电等信号源的环境信号数量。当使用电流探头或外部天线时，这个问题尤为突出。如果只有少数几次谐波需要关注，通常更容易缩小频谱分析仪上的频宽以“放大”特定的谐波频率，从而消除大部分环境信号。一个常见的例子是区分 100 MHz 时钟谐波和 99.9 MHz FM 调频广播波段信道。如果谐波是部分隐藏在调制频率中的窄带连续波 (CW)，那么降低分辨率带宽 (RBW) 也有助于分离谐波。但要确保降低 RBW 不会同时降低谐波幅度。

通常情况下，最好能看到整个相关频段内环境信号的“全貌”。为了使用频谱视图考虑环境信号，首先关闭被测设备并设置所需的频谱限制和频宽。在本例中，我们将使用 100 MHz 的中心频率和 200 MHz 的频宽。一般故障诊断的分辨率带宽 (RBW) 为 10 kHz，这是一个很好的起点，可以清楚地分辨谐波。然后，通过使用文件 > 另存为 > Ch1 > SV\_Normal > 然后输入文件名 > 保存 (图 A) 将频谱图保存为环境基准。

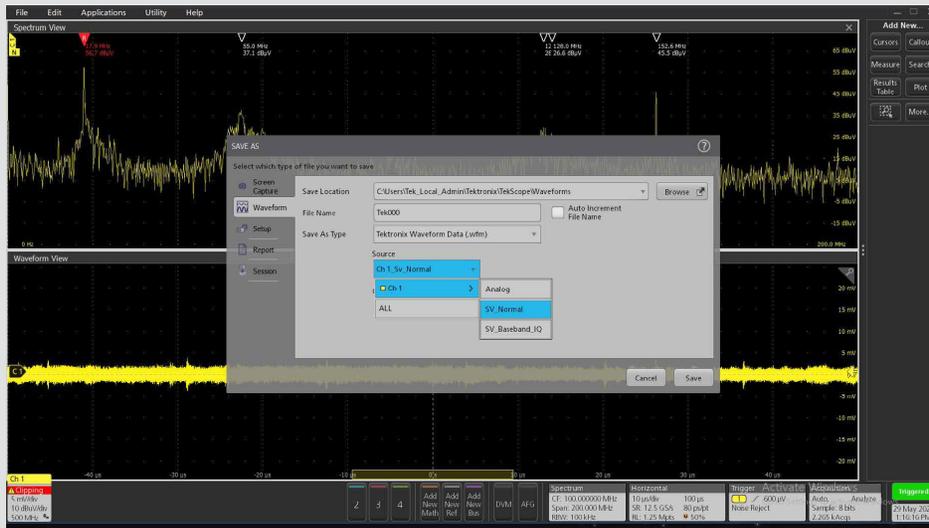


图 A. 在待测设备关闭的情况下，使用“SV\_Normal”保存环境频谱

这将记录各种广播电台、双向无线电、数字电视和手机信号。使用调用 > 波形 > 选择文件名 > 调用 (图 B) 来调出保存的波形。然后，打开待测设备并保存一次扫描以记录环境信号和待测设备信号。最终，您将获得类似于图 C 的屏幕。

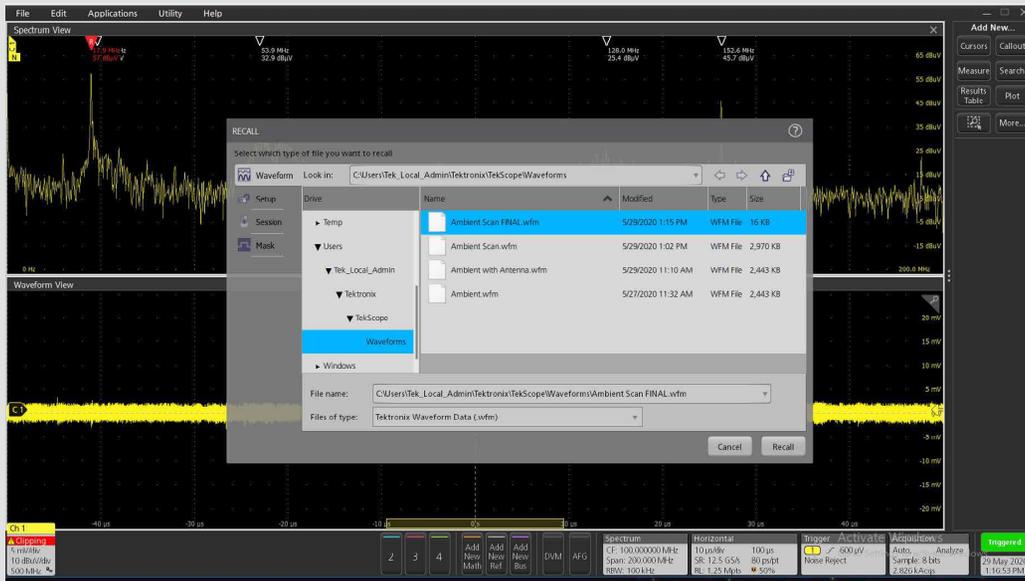


图 B. 调用已保存的环境图

您会注意到在 FM 广播波段 (88-108 MHz)、数字电视波段 (470 至 608 MHz) 和手机波段 (一般为 1000 MHz 以下的 600 至 850 MHz) 周围有许多活动。有关美国移动电话频段的更多详细信息, 请参考参考文献 6。

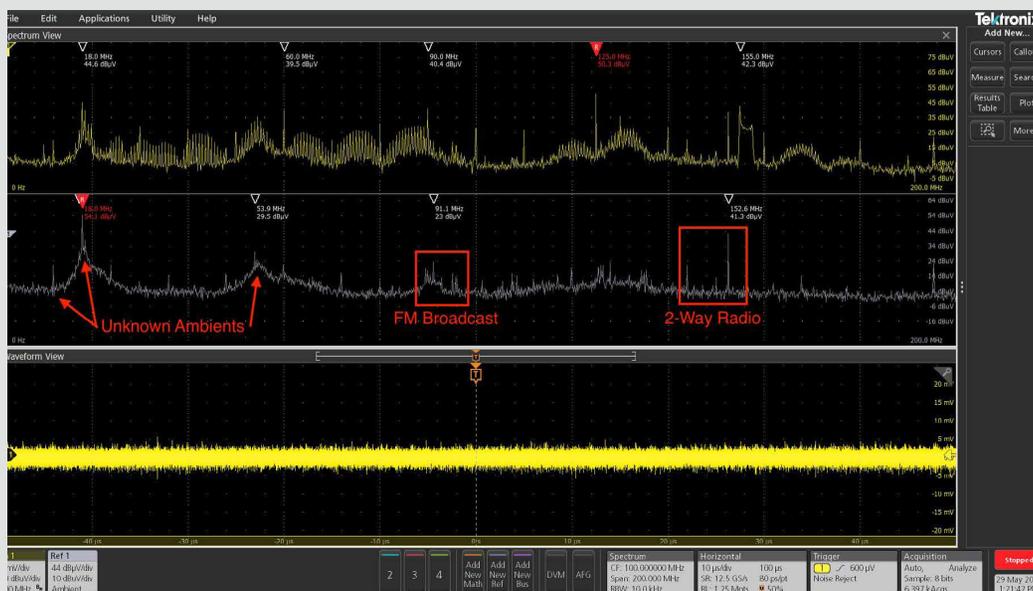


图 C- 示例中显示了环境测量 (灰色) 和待测设备扫描 (黄色)。通过视觉对比不同之处, 可以发现待测设备的谐波。这种技术并非绝对可靠, 因为可能会有未被环境捕获的其他双向无线电传输, 但它仍会让您对来自待测设备的信号有一个很好的了解。要确认谐波频率是否来自被测设备, 您可能需要偶尔关闭设备电源。

## 时间相关故障排除

如果无法稳定时间域波形，并且信号“混乱”，但以固定脉冲到达（对于数字总线或物联网 / 无线电路非常常见），请尝试测量脉冲之间的周期并设置 Holdoff 时间以稳定触发器。如果这样做不起作用，您还可以停止采集以分析存储的波形数据。

一旦获得稳定波形（或停止采集），就可以使用缩放旋钮（右下角）顺时针旋转放大时域波形。这将自动在底部显示放大的波形。请注意，时域波形上会出现频谱时间（根据缩放比例和 RBW 的不同而显示不同大小的彩色方框）。将其缩小并用手指或光标抓取，就能看到频域上的效果，具体取决于方框在时域采集中的位置。通过将其放置在时间域波形的某些部分上，您可能能够观察频谱图上的时间相关性。请参考图 8 和 9，了解示波器显示屏上频谱时间的示例。

作为示例，我们将测量作为安全入口访问的指纹扫描仪中 DDR RAM 总线噪声（图 7）。这块存储芯片旁边直接连接着一根柔性电缆，它与数据总线耦合并发出规律的电磁脉冲。经常情况下，数字活动脉冲通常会产生很强的谐波内容。



图 7. 对 DDR RAM 内存 IC 进行近场探测，该 IC 位于 LCD 显示器的柔性电缆旁边。由于密切耦合，电缆会起到辐射天线的作用

调整水平时间基准，使多个噪声脉冲串显示在时域屏幕上。调整触发电平以获得稳定的显示，或者简单地使用前面板停止采集按钮来停止采集。然后，使用右下方的缩放旋钮顺时针旋转来放大波形。

注意缩放窗口会随着放大而逐渐变小。用光标或手指抓住缩放窗口，沿着时域波形来回滑动，就能看到时域波形各部分的谐波效果。由此，您或许可以推断出这些脉冲串的来源，并采取一些缓解措施。图 8 和图 9 展示了时域波形的不同部分如何影响谐波含量，以及频谱视图窗口如何更新以显示与所选频谱时间相关的频谱含量。在脉冲的前沿，谐波增加了 20 dB。



图 8. 将缩放窗口定位在时间域波形的相对安静部分



图 9. 当频谱时间移至时间域中的嘈杂数字脉冲时，电磁干扰增加了 20 dB。  
通过频谱时间，可以分析这种电磁干扰脉冲是否会耦合到电缆并辐射

## 高级触发技术

硬件触发故障排除 - 泰克 4/5/6 系混合信号示波器具有通过 RFVT 选项启用的 RF 与时间硬件触发选项，可在触发图标中找到该选项（RF 与时间跟踪必须处于活动状态才能显示该触发选项）。

- 幅度与时间 - 在单独的视图中显示 RF 幅度与时间的关系
- 频率与时间 - 在单独的视图中显示 RF 频率偏差与时间的关系
- 相位与时间 - 单独的视图中显示射频相位与时间的关系

这三种情况可以同时显示，并且可以选择在 RF 幅度与时间和 RF 频率与时间图上的边缘、脉冲宽度和超时事件上进行硬件触发。

### 示例：幅度触发

**幅度与时间触发**测量频率含量的幅度，并允许在幅度边缘、脉冲宽度和超时事件上触发。当频率含量可能与某些谐波条件相关时，例如间歇性向上脉冲的谐波时，这将很有帮助。

例如，用中等尺寸（1 厘米）的 H 场探头观测到 35 MHz 谐波偶尔会向上脉冲 30 dB。这种间歇性谐波如果耦合到 I/O 电缆并辐射出去，很容易导致合规性失败。

假设探头连接到通道 1。要设置此特殊触发模式，请双击通道 1 图标并选择频谱视图。确保它已打开，并打开正常和最大保持。在 RF 与时间波形部分打开幅度（图 10）。

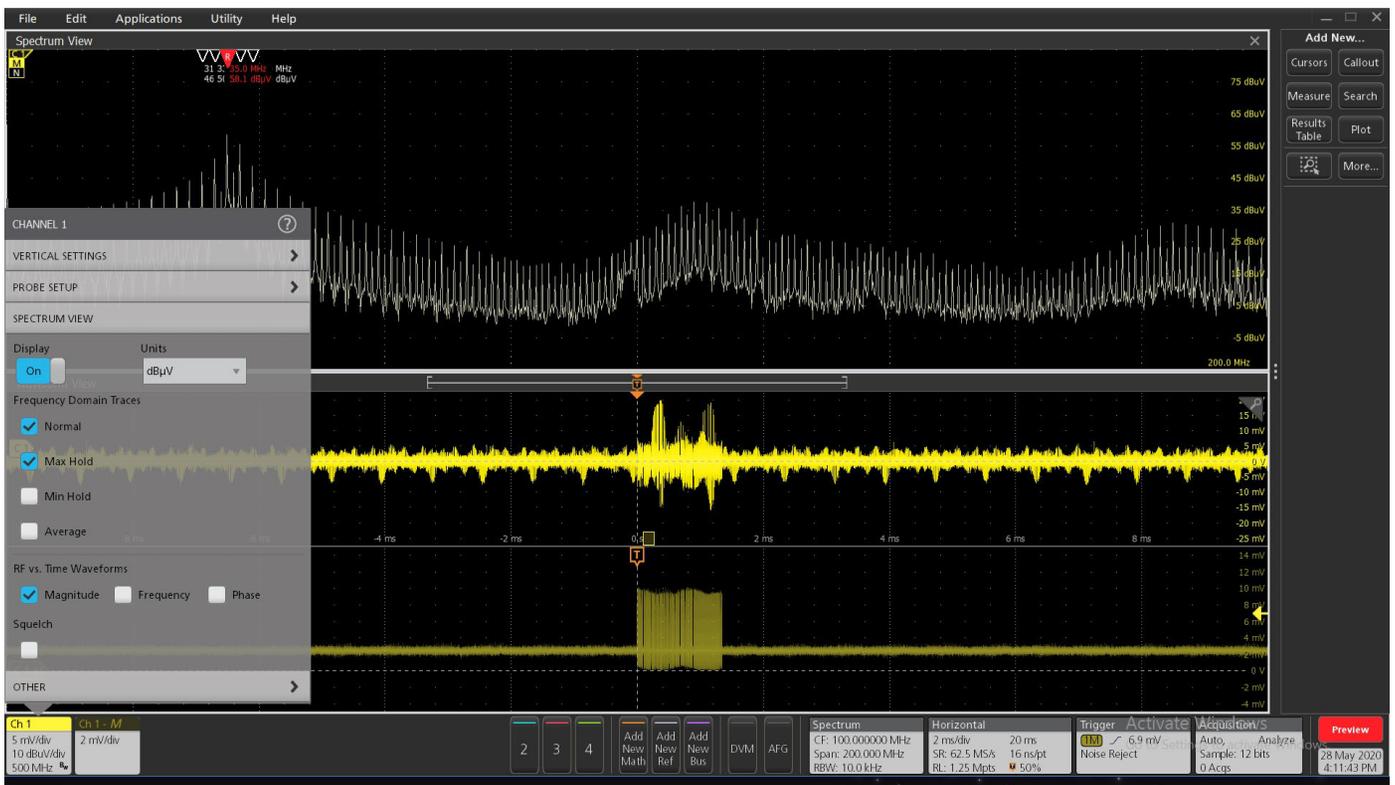


图 10. 设置频谱视图的常规控制

现在双击位于右下角的频谱控制框,并将中心频率设置为 100 MHz, 频宽设置为 200 MHz。还可以通过单位设置读取“dBuV”。这将显示从 0 Hz 到 200 MHz 的频谱。将分辨率带宽 (RBW) 设置为 10 kHz, 其余设置保持默认 (图 11)。

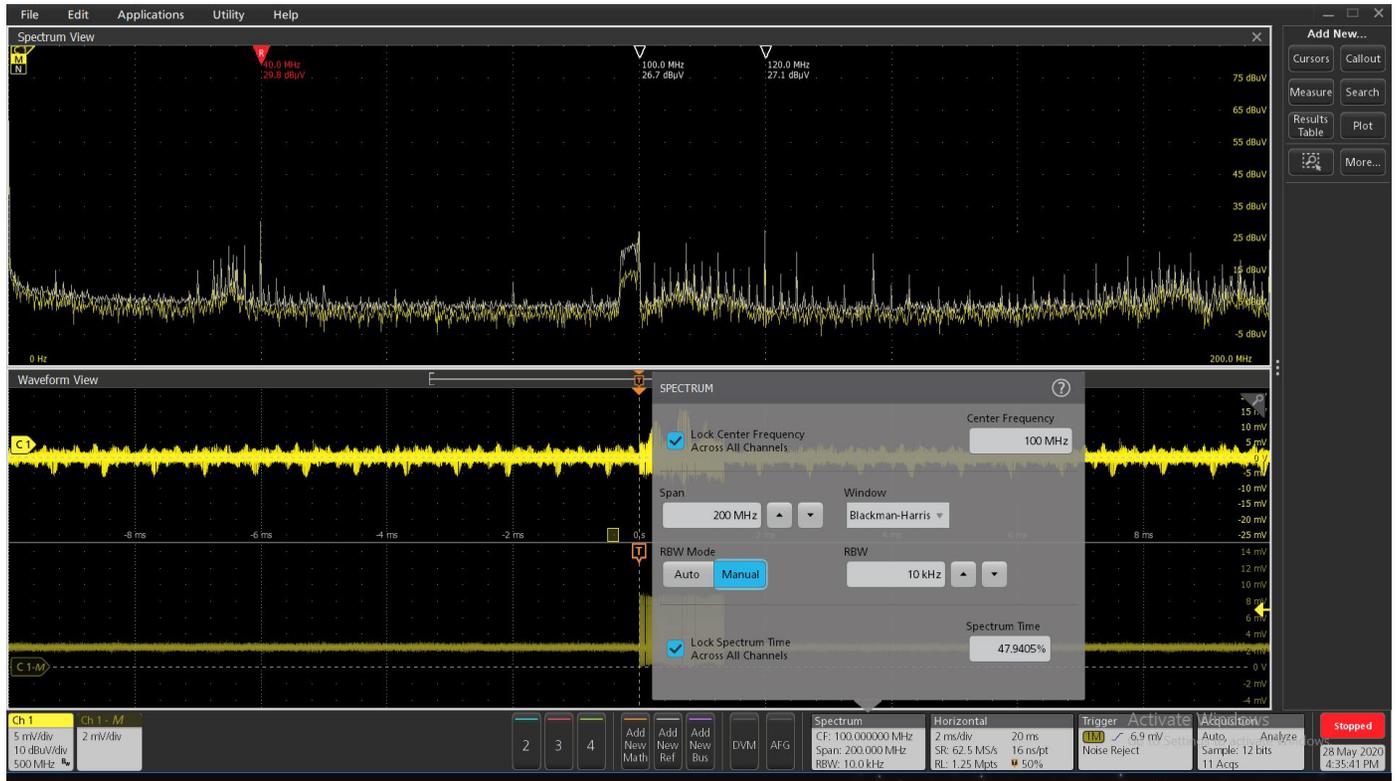


图 11. 设置频谱视图的详细设置

最后,双击触发控件(右下角)并将触发类型设置为边沿(默认),源设置为通道1,悬停鼠标或用手指轻点将显示“Mag\_vs\_Time”选项,并将其选中(图12)。请确保已设置“Mag\_vs\_Time”和频谱视图,否则将无法显示该选项。现在键入所需的触发值或定位“Channel1-Mag”图以便看到并向上调整黄色箭头(在垂直刻度内),直到触发参考线位于噪声之上且在幅度脉冲内的某处。

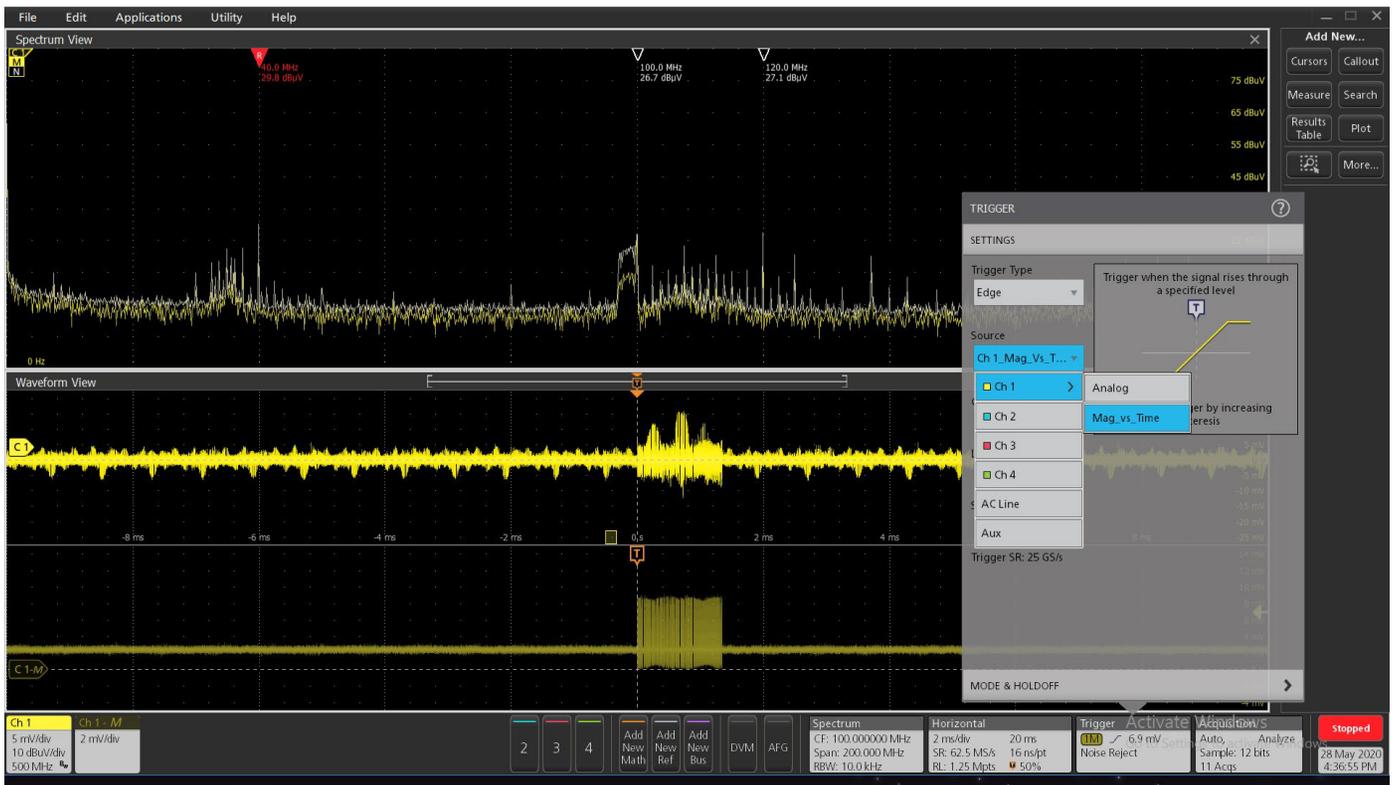


图 12. 将触发器设置为幅度与时间

如果数字脉冲间隔较大，则可能需要调整触发抑制。在触发面板中，选择“模式和抑制”，将触发模式设置为正常，抑制设置为时间，并将抑制时间设置为大于您正在隔离的脉冲宽度的值。在本示例中，脉冲宽度约为 1.3 ms，因此将抑制时间设置为 1.5 ms，以确保触在脉冲发生后很长时间内再重置（图 13）。

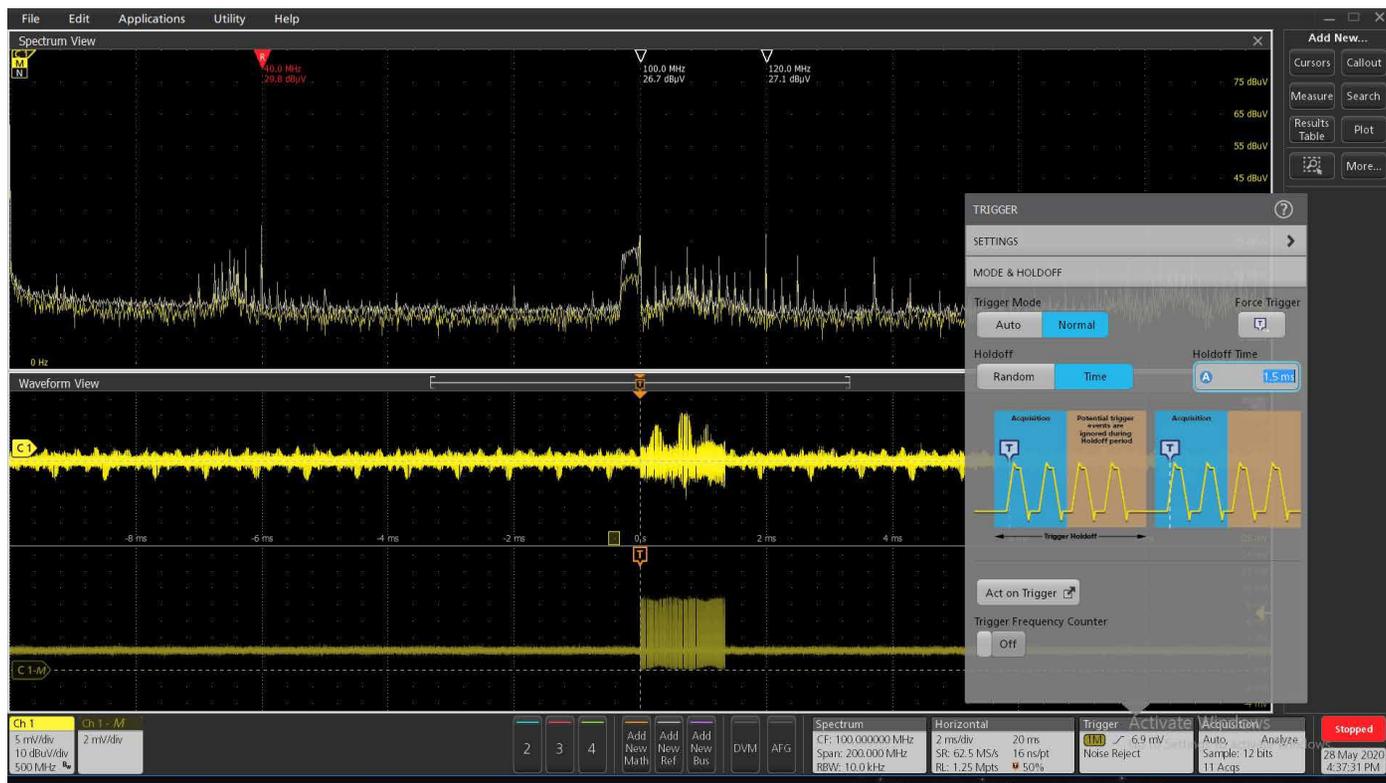


图 13. 如有需要，设置触发释抑时间以帮助稳定触发

注意时间域图中沿水平轴的小黄色框。这是频谱时间选择器，其宽度取决于 RBW。抓住频谱时间框并沿着时间域图来回滑动，您将观察到在频谱显示中不同时间的频率变化。

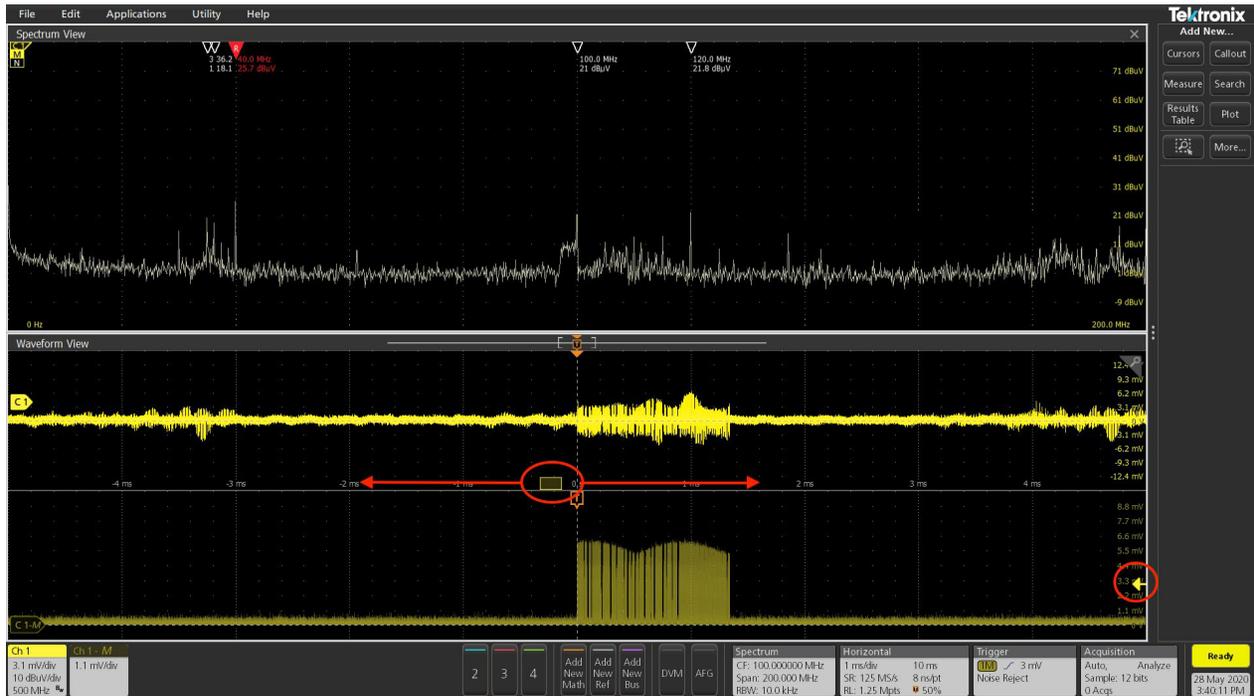


图 14. 设置幅度触发电平（用红色圈起来的黄色箭头标记）在残余噪音底部以上并位于幅度脉冲内。可以用鼠标或手指抓住光谱时间框（用箭头圈起来的红色框）并来回滑动以观察其对频谱显示的影响

例如，将方框滑动到脉冲之外，谐波最小（图 14），将框滑动到脉冲开始时，谐波达到最大（图 15）。RBW 越高，频谱时间框越宽，但分辨率越低，因此您可能需要进行实验来优化系统分析。

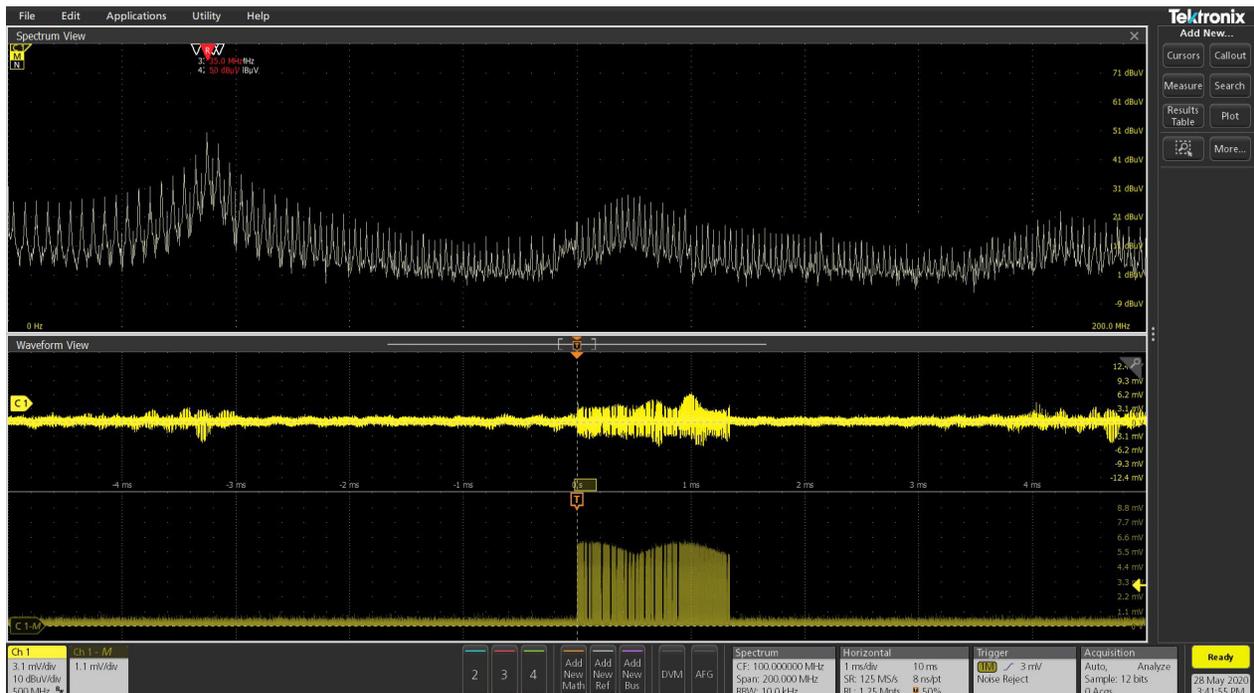


图 15. 将光谱时间框滑动到脉冲的前部会导致 35 MHz 的谐波（及相关频谱）增加高达 30 dB

通过将示波器探头插入通道 2 并在电路板周围探测，您应该能找到与通道 1 上的脉冲相关的其他数字信号，并确定与电缆或外壳接缝的耦合是否是导致该 35 MHz 谐波的问题，以及最适合减少耦合的缓解措施。

### 示例：频率偏移触发

频率偏移与时间触发测量时间域图的频率偏移，并允许根据偏移 (Hz) 进行触发。当频率域可能与特定谐波条件相关时，这将很有帮助。

在这个例子中，一个运算放大器在约 155 MHz 频率上产生了杂散振荡，该放大器的端接不良，并在其开环频率上产生振荡。通过触摸该区域会导致频率变化的现象可知，这是一个典型的杂散振荡，因为触摸时额外的身体电容导致其发生了变化。

使用连接到通道一的中型 H 场探头并将其放在运算放大器顶部，让我们对振荡进行表征 (图 16)。为了便于按照流程进行，请从前面板右下角按下“默认设置”按钮。然后按下“自动设置” (紧挨着“默认设置”)，以获取一个稳定的时间域波形而不会削波。双击通道 1 图标来打开频谱视图面板。打开显示并打开正常和最大保持框。接下来，打开频谱视图设置，并将中心频率设置为 150MHz，频宽设置为 200MHz，RBW 设置为 10kHz。我们可以在 155MHz 处清楚地观察到振荡 (图 17)。

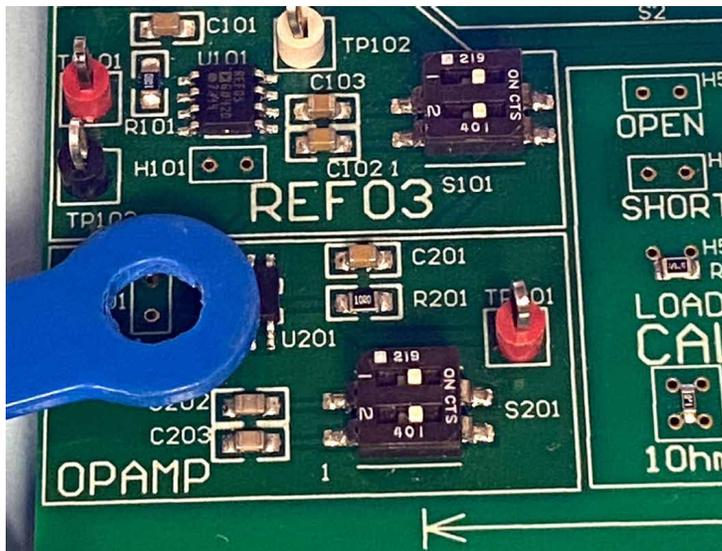


图 16. 将中等大小的 H 场探头与运算放大器 (U201) 松散耦合可观察到杂散振荡

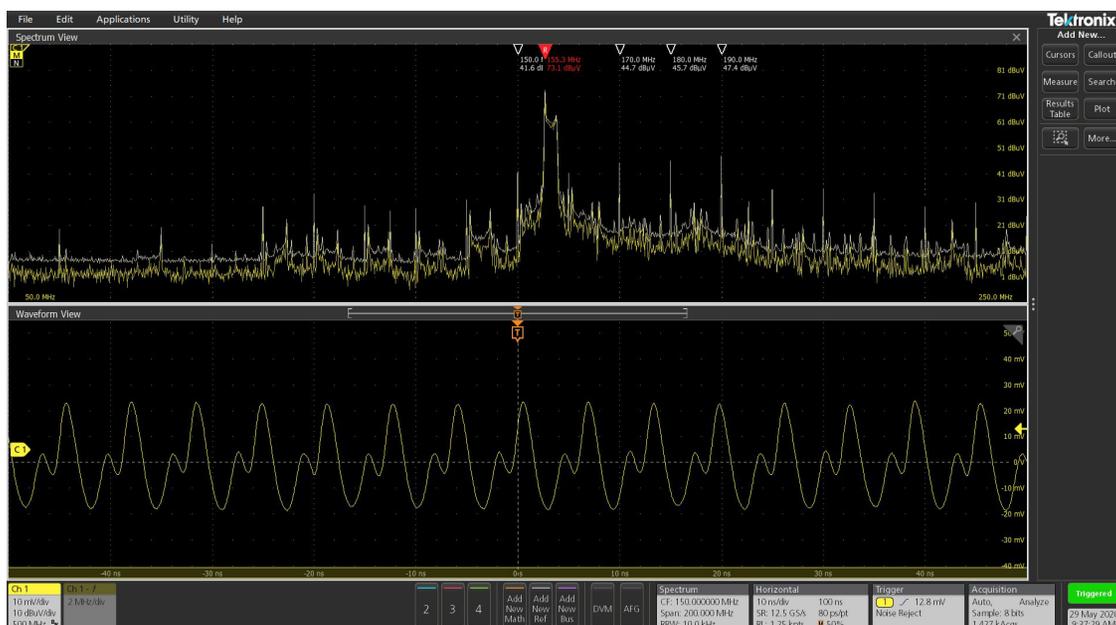


图 17. 杂散振荡可以在显示屏中央轻松观察到

现在，通过打开频谱视图设置选择跨度为 10 MHz，RBW 为 500 Hz，这样就可以清楚地看到频率响应。您可能需要通过拖动频谱视图将振荡移回视野中心来将振荡显示在屏幕上（图 18）。

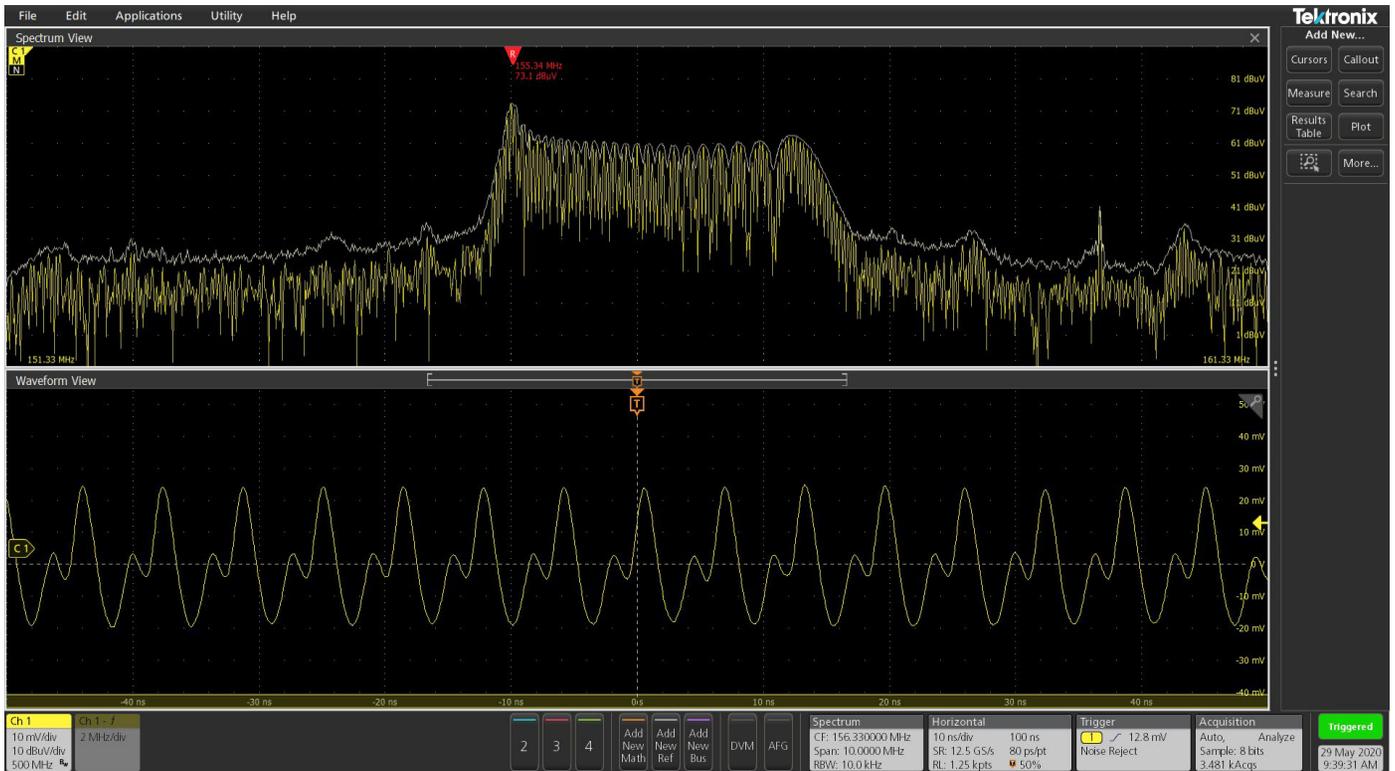


图 18. 杂散振荡被放大并居中显示。我们正在对时域波形进行触发，可以看到它随着振荡频率的变化而扩展和收缩。

现在返回通道 1 >> 频谱视图面板，并在 RF 与时间部分选择频率。您需要调整波形的垂直刻度并减慢水平刻度时间至 40 us/div，以便于查看。这将显示振荡的频率与时间关系图（图 19）。

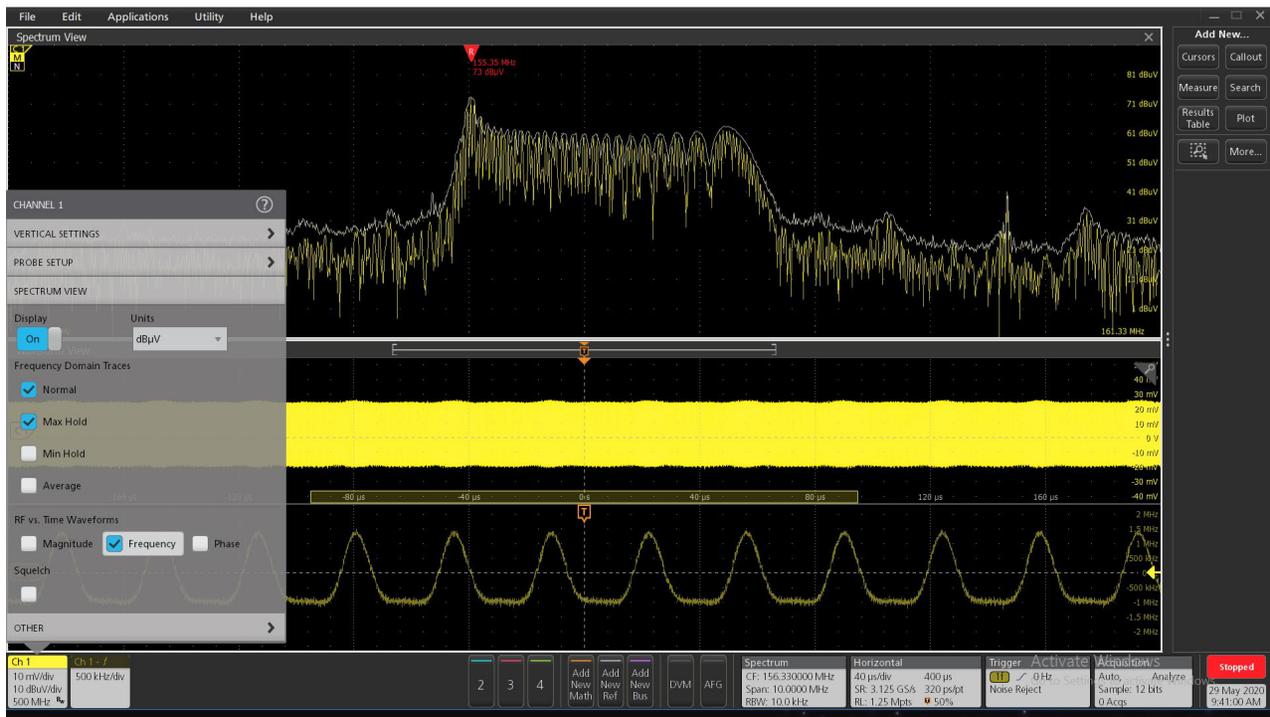


图 19. 在频谱视图面板的 RF versus Time 部分中选择频率框

现在，打开触发面板并选择通道 1 >> 频率\_vs\_时间 (图 20)。这将允许在显示底部的频率偏移与时间波形上进行触发。调整触发电平 (黄色箭头) 以稳定 RF 频率与时间波形在您的显示器上。您也可以选择使用运行 / 停止按钮 (右上方) 停止采集。

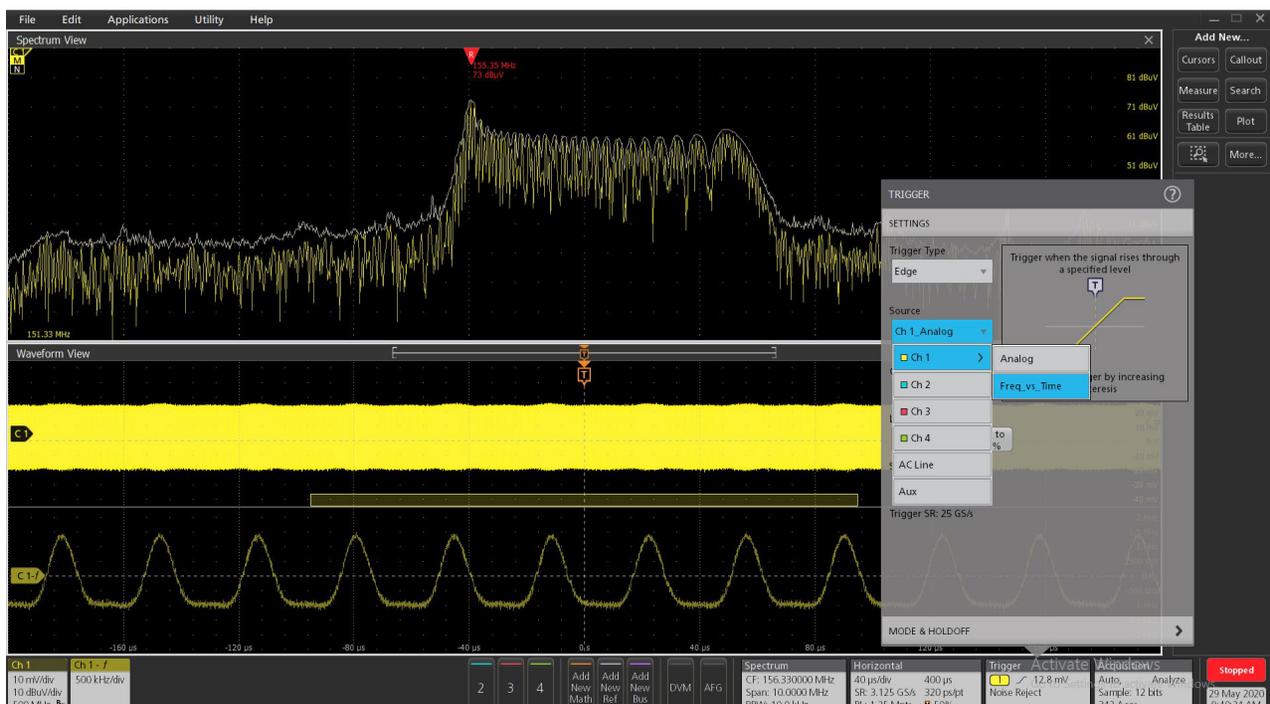


图 20. 打开触发面板并选择“Freq\_vs\_Time”触发



## 总结

通过将 Tektronix 4、5 和 6 系混合信号示波器与集成的频谱视图多域分析和时间与频率触发相结合，您将能够更快更容易地捕获难以捉摸的 EMC 问题。通过建立自己的辐射和传导发射 EMI 故障排除测试实验室，您可以节省时间和开支，将故障排除过程内部化。与在商业测试实验室进行故障排除相比，这将为您节省时间和成本。

随着技术的不断发展，我们 EMC 工程师和产品设计师需要升级我们通常的分析测试工具，以保持领先一步，并能够更好地捕捉和显示预期的更不寻常的辐射。示波器，事实证明，示波器（如 4/5/6 系列 MSO）具有时间相关或硬件（振幅或频率）触发功能，对于 EMI 调试和故障排除非常有用。随着移动设备不断缩小，越来越多的产品融入无线和其他先进的数字模式，高级频谱分析将变得尤为重要。

## 参考文献

André and Wyatt, EMI Troubleshooting Cookbook for Product Designers, SciTech, 2014.

Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering, Wiley, 2009

Tektronix 4 Series MSO oscilloscopes, <https://www.tek.com/oscilloscope/4-series-mso-mixed-signal-oscilloscope>

Tektronix 5 Series MSO oscilloscopes, <https://www.tek.com/oscilloscope/5-series-mso-mixed-signal-oscilloscope>

Tektronix 6 Series MSO oscilloscopes, <https://www.tek.com/oscilloscope/6-series-mso-mixed-signal-oscilloscope>

Tektronix EMI home page, <https://www.tek.com/application/electromagnetic-interference-emi-and-electromagnetic-compatibility-emc>

2017 EMI Pre-Compliance Test Guide (Interference Technology), <http://learn.interferencetechnology.com/2017-emc-pre-compliance-test-guide/>

Cellular frequencies in the U.S. (Wikipedia), [https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular\\_frequencies\\_in\\_the\\_US](https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_frequencies_in_the_US)  
EMI Troubleshooting with the Latest-Generation

Oscilloscopes, Tektronix, <https://www.tek.com/document/application-note/emi-troubleshooting-with-the-latest-generation-oscilloscopes>

EMI Pre-Compliance Testing and Troubleshooting with Tektronix EMCVu, Tektronix, <https://www.tek.com/document/application-note/emi-pre-compliance-testing-and-troubleshooting-tektronix-emcvu>

联系信息：

澳大利亚 1 800 709 465  
奥地利 \* 00800 2255 4835  
巴尔干半岛、以色列、南非和其他 ISE 国家 +41 52 675 3777  
比利时 \* 00800 2255 4835  
巴西 +55 (11) 3759 7627  
加拿大 1 800 833 9200  
中东欧 / 波罗的海国家 +41 52 675 3777  
中欧 / 希腊 +41 52 675 3777  
丹麦 +45 80 88 1401  
芬兰 +41 52 675 3777  
法国 \* 00800 2255 4835  
德国 \* 00800 2255 4835  
香港 400 820 5835  
印度 000 800 650 1835  
印度尼西亚 007 803 601 5249  
意大利 00800 2255 4835  
日本 81 (3) 6714 3086  
卢森堡 +41 52 675 3777  
马来西亚 1 800 22 55835  
墨西哥、中南美洲和加勒比地区 52 (55) 56 04 50 90  
中东、亚洲和北非 +41 52 675 3777  
荷兰 \* 00800 2255 4835  
新西兰 0800 800 238  
挪威 800 16098  
中国大陆 400 820 5835  
菲律宾 1 800 1601 0077  
波兰 +41 52 675 3777  
葡萄牙 80 08 12370  
韩国 +82 2 565 1455  
俄罗斯 / 独联体 +7 (495) 6647564  
新加坡 800 6011 473  
南非 +41 52 675 3777  
西班牙 \* 00800 2255 4835  
瑞典 \* 00800 2255 4835  
瑞士 \* 00800 2255 4835  
台湾 886 (2) 2656 6688  
泰国 1 800 011 931  
英国 / 爱尔兰 \* 00800 2255 4835  
美国 1 800 833 9200  
越南 12060128  
\* 欧洲免费电话。如果无法接通，请致电：+41 52 675 3777