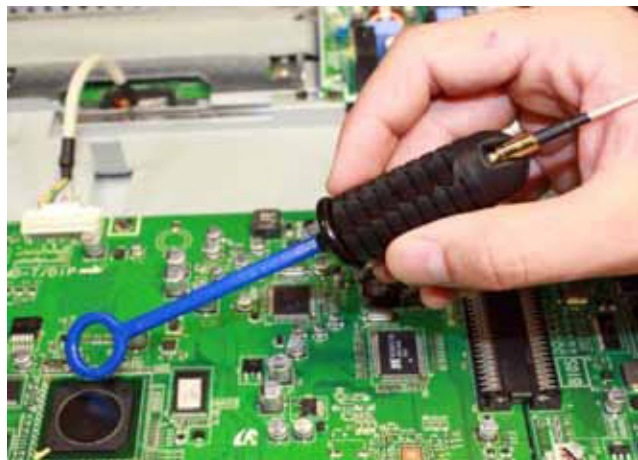
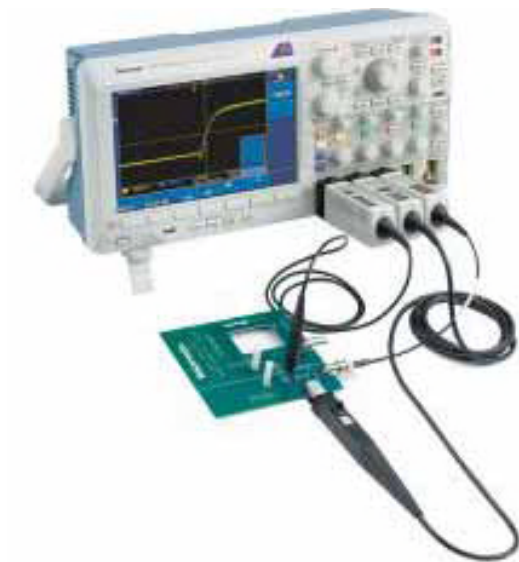


# MDO EMI 诊断方案（一）

应用产业：任何与电信号相关产业

应用行业：任何电子设备、电路板设计

应用技术：频谱分析、时域分析、跨域分析



EMI 定义：

电磁兼容 (EMC) 包括电磁干扰 (EMI) 和电磁抗扰度 (EMS) 两部分。简而言之，EMI 是电子设备对外部电磁环境的干扰，EMS 是电子设备抵抗外部电磁环境干扰的能力。无论是 EMI 还是 EMS，都包括辐射和传导两部分。EMC 认证是任何电子设备必须遵从的，EMI 是 EMC 中的重要部分。

EMI 测试：

EMI 测试包括如下几类：

1. EMC 认证机构在 EMC 实验室进行认证测试
2. 企业质检部门利用 EMI 接收机或高指标频谱仪进行 EMI 预认证测试
3. 产品研发、调测部门利用频谱仪进行 EMI 诊断
4. 产品研发调测部门利用示波器测试电源纹波、时钟抖动等特性，因为它们是产生 EMI 的因素之一。

EMI 诊断：

在电子设备设计、调试阶段，随时进行 EMI 诊断是保证电子设备通过 EMC 认证行之有效且费用最低的手段。如果最终产品 EMC 认证不合格，设计者需要重新进行 EMI 诊断，找出 EMI 问题的根源，但此时可用的整改手段已经不多，进行重新设计，费用将倍增。由此可见 EMI 诊断是日常工作中经常进行的，而 EMI 预认证以及认证测试只有在电子产品定型阶段才进行。有关 EMI 诊断预 EMI 预认证或认证的区别见下表。

	EMI 诊断	EMI 预认证 / 认证
目的	查找 EMI 问题的根源，消除或降低 EMI 问题的影响	确保最终产品符合 EMC 标准
对象	对屏蔽引起的 EMI 问题需进行整机测试，对其它 EMI 问题进行电路板级测试	最终产品整机测试
测试工具	电路板级测试用近场探头，整机测试用天线接收辐射干扰，或人工电源网络 (LISN) 接收传导干扰信号，用中低档频谱仪进行测试（通常在 6GHz 频段以下）。测试过程中一般用峰值检波。通常示波器经常被用来追踪 EMI 问题的根源（1GHz 示波器带宽足够）。	最终产品放置于屏蔽的 EMC 实验室中的可旋转测试台上，用天线接收辐射干扰，或人工电源网络 (LISN) 接收传导干扰信号，用 EMI 测试接收机（或高端频谱仪）进行测试。测试过程中必须用 EMI 标准的准峰值 (QP) 检波。
测试方法	用近场探头手动逐区域诊断，或用示波器探头逐端子测试以追踪 EMI 根源，解决一个问题后，需要再次进行诊断，如此往复，直至没有 EMI 问题	EMI 测试系统软件自动完成测试并给出测试报告

峰值检波与准峰值检波：

EMI 认证机构通常按照 EMI 标准的准峰值检波进行测试，而 EMI 诊断中往往用峰值检波，两者不匹配，EMI 诊断是否还有意义？由于 EMI 诊断的目的是为了找出 EMI 的根源，并不需要绝对精确的测试，而是需要相对的重复性好的测试。准峰值检波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。准峰值检波的平均过程需耗费时间，测试时间长，不利于日常诊断。由于准峰值检波测试幅度结果永远小于或等于峰值检波的测试结果，因此在进行 EMI 诊断时，用峰值检波可以快速发现 EMI 问题。

在测试中遇到的问题：

1. 从电路板设计开始就应该考虑 EMI 问题，但受资金限制，EMI 诊断设备往往不能配备到位。
2. 电子产品设计定型后去进行 EMC 认证测试，认证机构给出不合格报告，仅指出辐射还是传导 EMI 不合格，虽然给出干扰频点，但并不指出电子设备中

## MDO EMI 诊断方案

### ■ 应用案例

EMI 不合格的具体位置或原因，需自行进行 EMI 诊断，耗费时间与资金。

3. 某些设备受环境制约无法进行屏蔽，需找出 EMI 根源从设计上解决。频谱仪是发现 EMI 问题的基本测试仪器，但某些情况下难以追踪 EMI 的根源。
4. 某些 EMI 问题可以通过屏蔽方式解决，虽然可以通过 EMC 认证，但 EMI 影响该设备自身性能，必须从根源上解决，或找出问题所在加以回避。在此种情况下，频谱仪存在与 3 同样的问题。
5. 随着数据速率的加快，周期性突发的 EMI 问题日益增多，必须通过对 EMI 周期的分析找出问题的真正根源，这需要调制域分析。
6. 传导类 EMI 可以用示波器追踪，同时需要用频谱仪测试，需要两种仪器结合运用。

泰克测试方案及优势：

1. 方案：MDO4014-3 + 近场天线 + P6150 + N 转 SMA
2. 特点：
  - a) 五合一，完备的示波器功能可以满足日常电路调测需求，还可以追踪 EMI 问题的根源；频谱仪功能可以随时诊断 EMI 问题。
  - b) 具有特色的跨域分析功能，便于分析 EMI 的真正根源
  - c) 频谱高灵敏度、分析带宽宽，适用于 EMI 诊断测试
  - d) 可测试射频幅度随时间的变化，便于分析周期性 EMI 问题产生的根源
  - e) P6150 探头（选配）可直接将电路板电源或地线连接到 MDO 频谱仪射频输入端，测试电源纹波或地线不合理引起的 EMI 问题



P6150 探头



N 转 SMA



近场探头

### 案例一 利用 MDO 诊断风扇 EMI 超标问题

待测试设备：某型号风扇

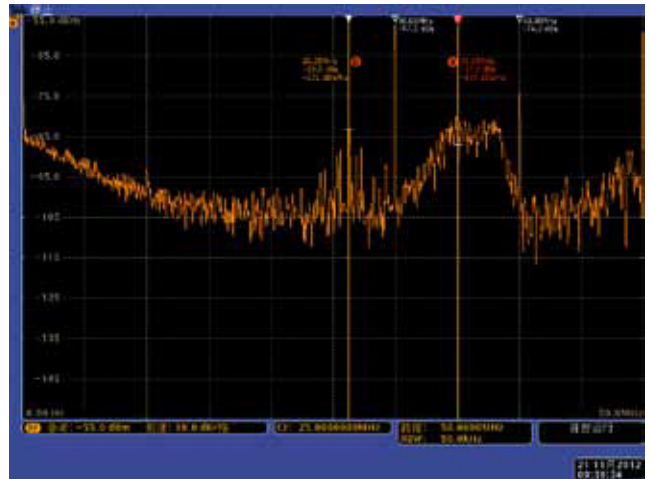
测试仪器：泰克 MDO4104-3 + 近场探头

面临的问题：

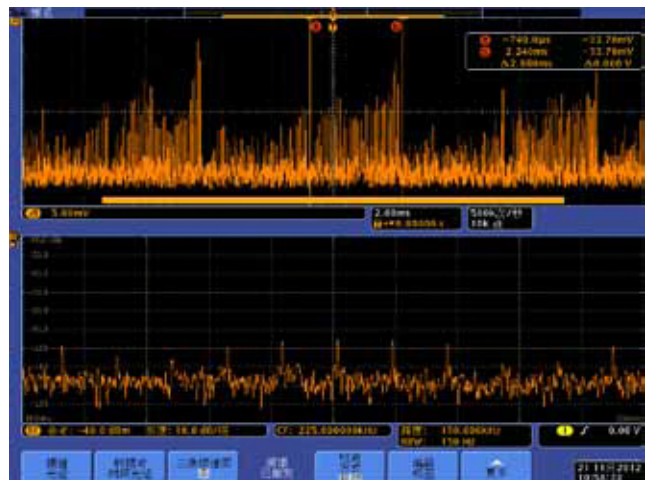
产品研发成功后，需通过 EMI 标准测试。之前已经将产品送出去测试了 3 次，每次测试的花费都在 1 万人民币，却始终没有通过。检测机构给出的报告也只知道有超差的频点，没有给出超差的原因。

实测过程：

在 MDO 上连接好近场探头后，用 MDO 频谱仪功能测试电机的射频辐射，发现在 50KHz 至 40M 频率范围内辐射很大，特别是在 20MHz 和 40MHz 附近。



经过和客户的沟通后，了解到该型号产品使用的是 PWN 调制，调制频率为 20KHz，通过改变占空比来改变转速。了解到该情况后，使用了 MDO 的时域频域联调功能，测试结果图如下





通过 MDO 的时域频域联调功能，做幅值随时间变化的曲线，可以发现辐射功率基本上以 3ms 为一个大周期。在每一个周期内，射频辐射功率逐渐增大，在周期结束时到达最大值。通过这一测试结果，我们可以确认该风扇 EMI 问题和 PWN 调制相关。因为在 3ms 周期内辐射功率的变化基本和 PWM 波的占空比变化成正比。

#### 案例总结：

本案例除了应用了 MDO 的频谱分析功能外，还应用了 MDO 射频信号幅度随时间变化的功能，这是一种调制域分析。利用该功能，MDO 可以将 EMI 频谱以及 EMI 信号的幅度随时间的变化关联在一起，对查找类似本案例中这种周期性变化的 EMI 问题的根源很有帮助。

### 案例二 利用 MDO 诊断无线 POS 机 EMI 问题

待测试设备：某正在研发阶段无线 POS 机

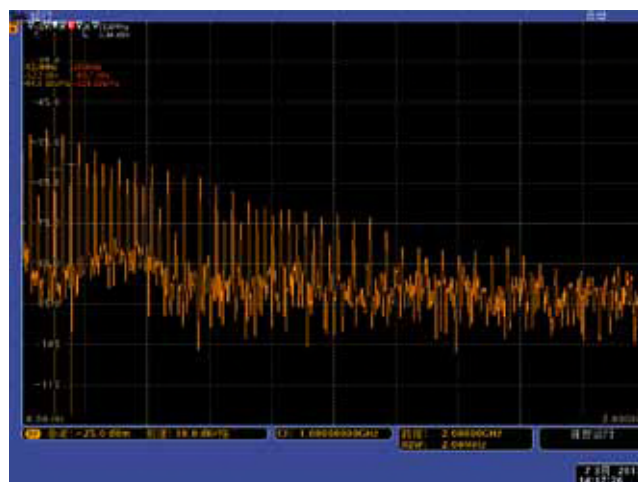
测试仪器：泰克 MDO4104-6 + 近场探头

#### 面临的问题：

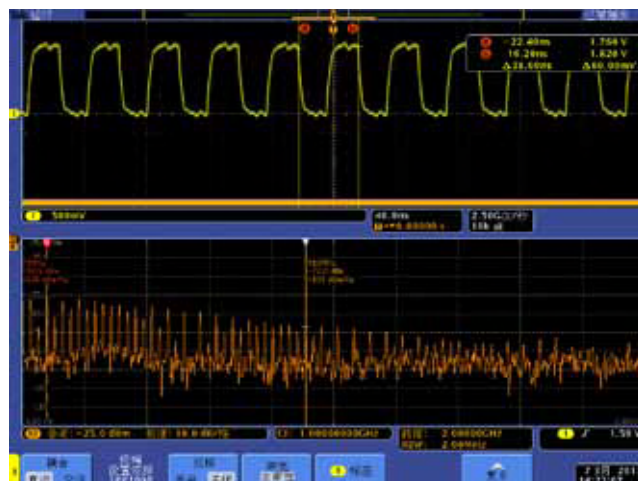
该无线 POS 机已经在该公司初步研发成型，由于该产品要利用中国移动 900M GSM 网络传输刷卡信息，除了 EMC 认证标准外，还要对移动通信性能指标进行测试。经过几次测试，发现该产品 GSM900M 接收灵敏度仅为 -70dBm，远未达到 -90dBm 的指标。该公司有频谱仪，用该仪器已经发现这款无线 POS 机在 900MHz 频带内存在非常严重的 EMI 问题。为此，该公司设计人员对电路板无线部分设计几经改动，但对 EMI 的降低效果并不明显。

#### 实测过程：

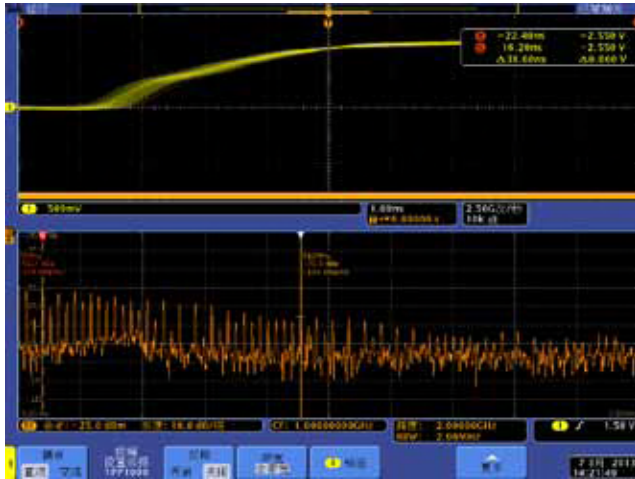
在 MDO 上连接好近场探头后，用 MDO 频谱仪功能测试该无线 POS 机电电路板的射频辐射，中心频率设定为 1GHz，跨度为 2GHz，测试结果显示，该电路板 EMI 问题延续至 1.8GHz，在 100MHz 时 EMI 幅度达 -60dBm，900MHz~1GHz 达 -70dBm，这基本上验证了该公司用频谱仪测试的结果。由于 EMI 在 900MHz 的辐射强度大 -70dBm，当中国移动 GSM900MHz 下行信号比 -70dBm 低时，将被 EMI 干扰所淹没，该 POS 机将无法接收，因此其接收灵敏度只能达到 -70dBm。



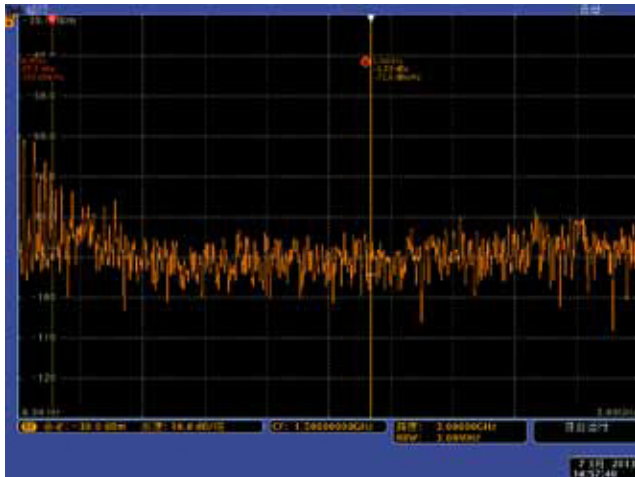
上述 EMI 频谱为典型的方波频谱，但典型的方波频谱中仅包含奇次谐波，而此 EMI 频谱中包含偶次充分。另外，方波频谱 5 次以上的谐波幅度应该很低，但此 EMI 频谱包含极高次谐波分量。为进一步探寻此 EMI 的根源，我们将 MDO 通道 1 探头连接到该无线 POS 机电路板时钟端子，得到时钟与频谱跨域显示。



通道 1 显示的时钟纹波较大，这可说明该 EMI 频谱中为什么包含偶次谐波成分，但并不能找到 EMI 频谱扩展到 900MHz 的根源。为此，我们将 MDO 时基调小，得到通道 1 时钟信号展开后的波形与 EMI 频谱的对应图，我们发现该时钟信号的抖动非常严重，这就是造成该 EMI 频谱扩展到 900MHz 的原因。



与该公司设计人员讨论后，得知该电路板时钟信号是由晶振经一个分频电路整形后产生的，以前他们也曾怀疑时钟问题，但用示波器测试晶振输出，波形相当理想，便未怀疑时钟问题。为此，设计人员断开分频整形部分，将晶振输出的时钟信号直接飞线为电路板的时钟，再测试该电路板 EMI 频谱如下：



由此频谱图可见，该时钟的高次谐波没有超过 200MHz，900MHz 时的已经没有 EMI 问题，可确认该无线 POS 机 EMI 问题由电路板上的时钟分频与整形电路引起。由于该无线 POS 机的工作时钟必须是分频后的时钟，找到 EMI 根源后，设计人员需重新设计分频及整形电路。

#### 案例总结：

本案例除了应用了 MDO 的频谱分析功能外，还应用了 MDO 示波器与频谱跨域显示功能，利用此功能，轻松地找到了 EMI 的问题所在。

### 案例三 利用 MDO 测试开关电源引起的 EMI 问题

待测试设备：某电子设备电路板

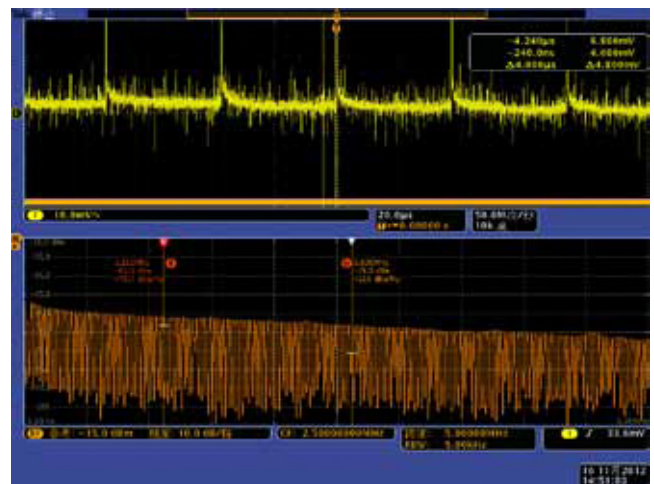
测试仪器：泰克 MDO4104-6 + BNC 电缆

#### 面临的问题：

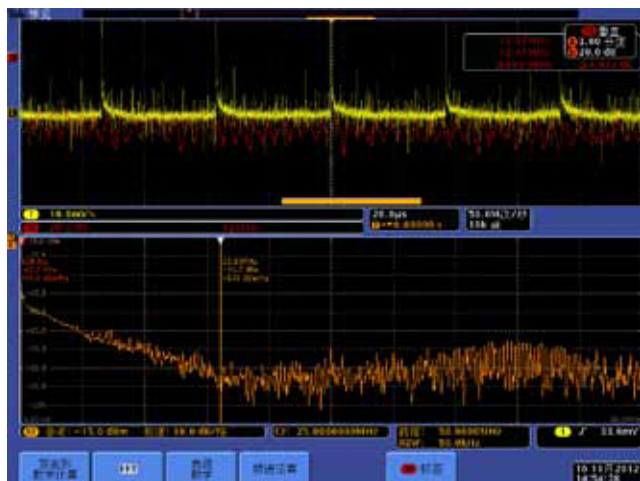
该电子设备电路板为直径 15 厘米的圆形，放置于金属屏蔽壳内，EMC 认证没有问题，但该设备自身工作并不正常，怀疑是开关电源纹波造成的影响。由于开关电源纹波的频率通常很低，传统的测试方法是用示波器监测电源波形，并对该波形进行 FFT 运算以显示电源纹波的频谱。由于示波器 FFT 所运算的频谱，其跨度受制于示波器的时基，而且动态范围远低于频谱仪，因此测试效果并不理想，没有确认电源纹波问题。由于 MDO 是示波器与频谱仪的结合，客户便决定拿 MDO 再次测试。

#### 实测过程：

首先测试该电路板 +5V 电源纹波，MDO 示波器通道 1 直接连接在 +5V，用交流耦合测试纹波。为了对比，用 BNC 电缆一端连接 MDO50 欧姆射频输入端，另一端剥开外皮直接连接到 +5V 上，设置中心频率为 2.5MHz，跨度为 5MHz。测试结果如下图：



由测试结果可知，该电源纹波达 20mV 左右，其频谱在低频段达-50dBm左右。为了看清电源纹波的影响，我们在示波器端做 FFT，同时将频谱仪的跨度设定为 50MHz，测试结果如下：



从测试结果可知，示波器功能的 FFT 所显示的频谱与频谱仪 5MHz 跨度频谱类似，但并不能看出什么问题，而此图中的频谱显示，该 +5V 电源纹波的占用带宽一直延续到 16MHz，因此对该设备影响严重。由此找到该设备工作不正常的真正原因。

#### 案例总结：

本案在测试电源纹波时，用示波器的同时，也应用了频谱仪。灵活设置频谱仪的跨度，可轻松测试电源纹波在频域中的占用带宽，MDO 集示波器和频谱仪功能于一身，可将时域与频域联合显示，非常适于此类应用。

#### 案例四 利用 MDO 地线布局不合理引起的 EMI 问题

待测试设备：某电子设备电路板（与案例三为同一个设备）

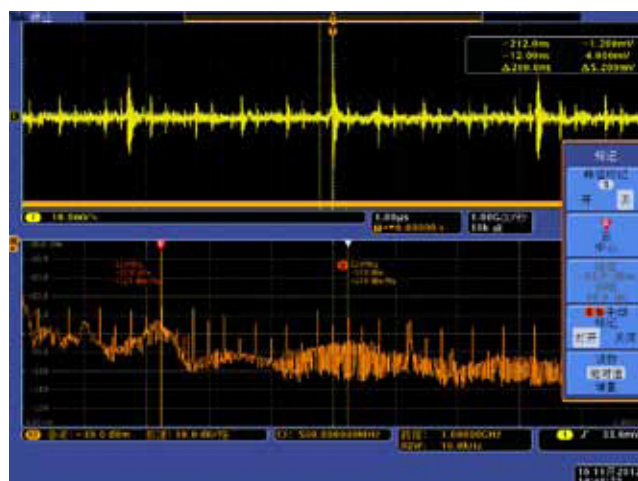
测试仪器：泰克 MDO4104-6 + BNC 电缆

#### 面临的问题：

在找到案例三中的问题后，我们立刻想到，既然电源纹波会影响设备性能，地线上是否也会由于布线不合理而存在该开关电源纹波造成的 EMI 问题？为此我们做进一步测试。

#### 实测过程：

将示波器探头接到该电路板地线，同时将 BNC 电缆也接到地线，为观测地线的 EMI，我们测试 1GHz 跨度的频谱，测试波形如下：



由此图示波器波形可知，该电路板地线上很不干净，最大纹波月 20mV。在上图下半部分的频谱图中，发现较严重的 EMI 问题，几乎在这个 1GHz 跨度内都存在。从频谱曲线的形状可以判断，该地线上既存在开关电源造成的 EMI 同时也存在时钟泄露造成的 EMI 问题，因为在频谱曲线上有类似方波的谐波成分。通过测试谐波分量的频谱间隔，可以轻松测试该时钟泄露频率为 25MHz。由与 EMI 问题遍布整个跨度，为了测试 EMI 最严重的频段，我们将 MDO 频谱仪跨度降低为 500MHz，RBW 设置为 5M，得到如下测试结果：

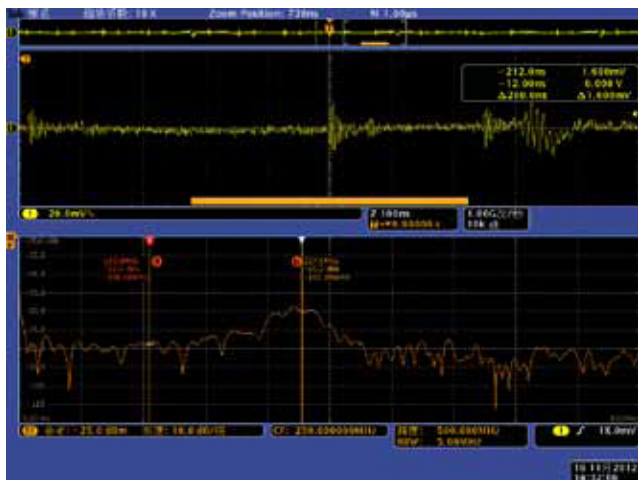




## MDO EMI 诊断方案

### ■ 应用案例

由测试结果可知，该地线在 105MHz 和 227.5MHz 两处 EMI 幅度较高，利用 MDO 跨域分析功能，在上半部分时域曲线中，橙色条位置为下半部分频谱分析时间段，此时该时间段位于距触发点 1.02uS 处，即地线上较宽的波形处。我们向左调整频谱分析时间段，得到如下测试结果：



此时，频谱分析时间段位于距触发点 730nS 处，即地线上较短的波形处，可知该处产生 227.5MHz 的 EMI 干扰。再调整频谱分析时间段至地线杂波较宽处，即距触发点 1.1uS 处，得到测试结果如下：



由测试结果可知，此处地线上的纹波产生 105MHz 处的 EMI。通过以上跨域分析，我们可以找到 EMI 产生的根本原因。

#### 案例总结：

本案在测试地线上的纹波时，在用示波器的同时，也应用了频谱仪，可以轻松发现 EMI 问题。灵活设置频谱仪 RBW，利用 MDO 独有的跨域分析功能，可轻松查找某个频段的 EMI 产生的根源。

### 案例五 利用 MDO 测试高速数据引起的 EMI 问题

待测试设备：某视频信号处理设备电路板

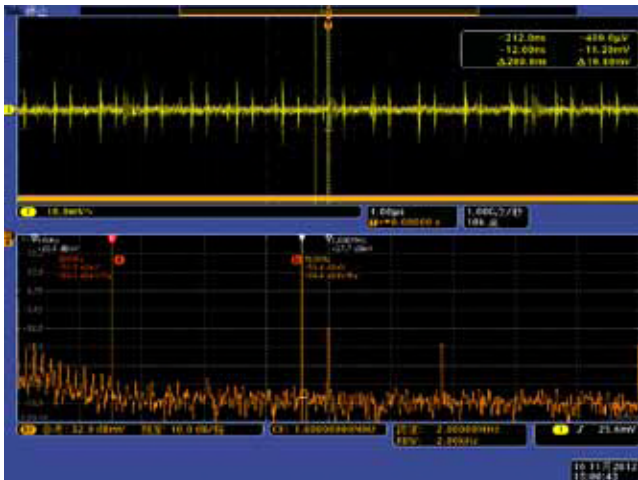
测试仪器：泰克 MDO4104-6 + BNC 电缆

#### 面临的问题：

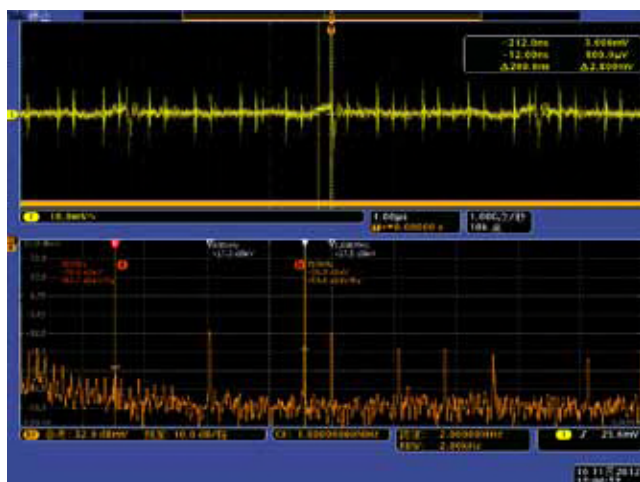
本案例中的客户与案例三和案例四是同一客户，但被测电路板不同，本次测试该客户另一款视频信号处理单元的电路板。众所周知，视频信号对干扰十分敏感，处理不好，很容易出现马赛克现象，该客户就存在这样的问题

#### 实测过程：

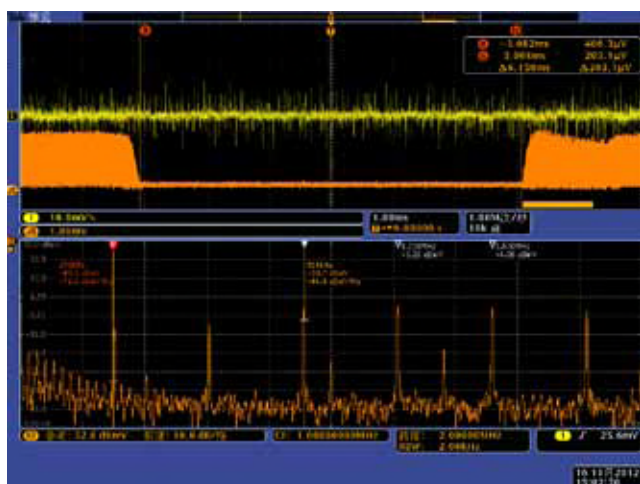
由于有了前两次的测试经验，我们直接想到的就是电源或地线上的 EMI 问题，于是将示波器通道 1 接到该电路板 +5V 供电，同时用 BNC 电缆将该电源接到频谱仪输入端，得到测试结果如下：



在这个测试结果中，我们发现黄色的电源波形上仍然有 20mV 的纹波存在，下半部分的频谱图中，低频端的底噪抬起以及相应的频峰也是典型的电源纹波造成的 EMI 频谱。光标 a 示意出该电源纹波的 EMI 带宽只有 384KHz，远低于案例三中的 16MHz，说明这个视频处理电路的供电纹波大大优于案例三中的电路，因此对视频信号造成的干扰来源，应该不是电源纹波造成的。但是从上图下半部分频谱上，我们还在 1MHz 和 1.35MHz 两个频点看到频峰，而且这些频峰还在随时间变化，另一时刻的测试结果如下：

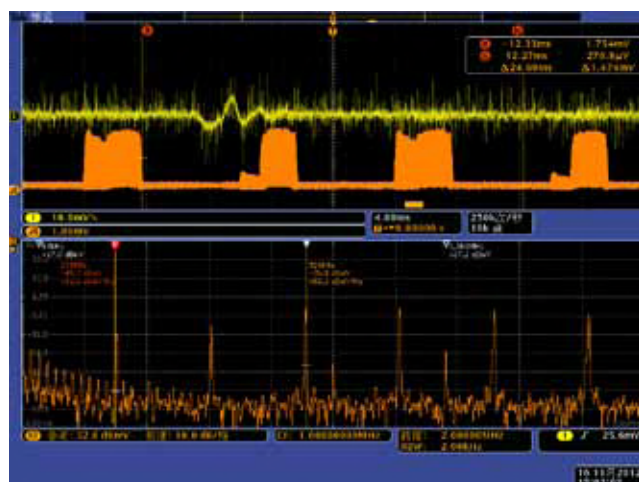


此时刻 EMI 频率峰，除了上图的两个外，还有 608KHz 以及 910KHz 等多个频率峰，这些频率峰的存在，预示着该 EMI 问题可能与某些时钟串扰有关，由于其呈周期性变化，一时还难以判断与哪类时钟有关。对于这种呈周期性变化的 EMI 问题，最好的测试方法就是对射频信号进行幅度解调，将射频信号的幅度随时间的变化规律显示出来。为此我们将 MDO 时域的时基由 10uS 调整为 10mS，同时打开 MDO 射频幅度随时间变化的功能，得到下面测试结果：

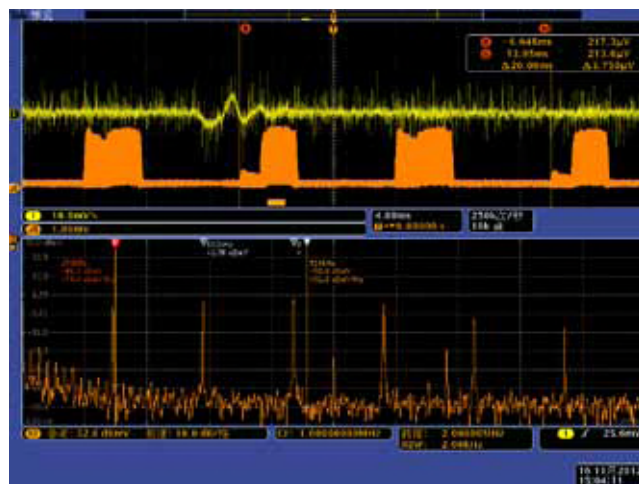


通过上图中上半部分时域波形中橙色的幅度随时间的变化曲线，我们已经发现了射频信号的幅度呈规律性的变化，只是 10mS 时基仍然不够长，无法看清射频信号变化的全貌，于是我们进一步将时基延长到

40mS，得到测试结果如下图：



由此图上半部分时域波形中的橙色曲线，我们可以明显地发现射频输入的幅度呈周期性变化的规律。在此图中，表示频谱时间段的橙色条位于较宽的突发处，下半部分频谱图显示频率峰间隔约 300KHz，说明此刻 EMI 与一个 100KHz 时钟有关。我们将频谱分析时间段移动到带有台阶的突发较窄段，得到如下结果：



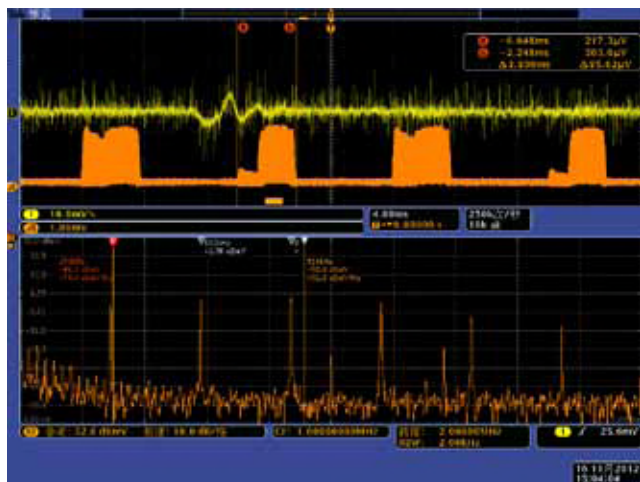
此时的频峰间隔比 300KHz 短，说明此刻 EMI 与另一个频率低于 100KHz 的时钟有关。我们在时域波形中打开光标，可以此时带台阶的突发重复周期约 20mS，较窄突发与较宽突发重复周期约 10mS，由此可初步判断该视频处理单元电源线上的 EMI 与控制图像的两个时钟信号有关。于是我们继续移动频谱分析



## MDO EMI 诊断方案

### ■ 应用案例

时间段到矮台阶处，得到如下结果：



此时，频峰间隔再起变化，由此找到另一个干扰视频质量的时钟泄露问题。

#### 案例总结：

对周期性变化的 EMI 干扰问题，MDO 的幅度随时间变化功能非常有用，可以轻松找到潜在的多个问题的根源。

### 案例六 利用 MDO 测试高速数据引起的 EMI 问题

待测试设备：某电子设备电路板

测试仪器：泰克 MDO4104-6 + 近场探头

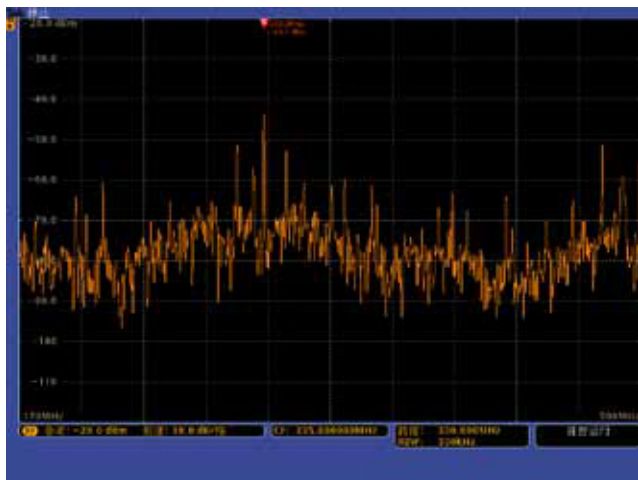
#### 面临的问题：

该电子设备为300MHz频段专用的无线通信设备，EMC 认证没有问题，但该设备自身工作并不正常，以前曾用频谱仪配近场探头测试过，发现在嵌入式射频发射电路板内FPGA处有较强的EMI辐射，造成底噪升高，使得该通信设备发射信号信噪比降低，影响通信质量。多次整改设计方案，效果不明显。

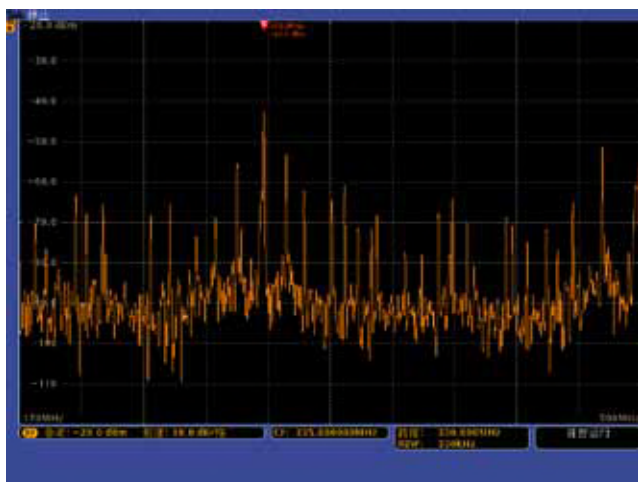
#### 实测过程：

既然客户已经测试过 EMI，我们首先用 MDO 进行验证，在 0~330MHz 跨度内测试该电路板 EMI 问题，果然发现底噪抬升明显，EMI 问题十分严重。用近场探头逐点探测，的确在该电路板FPGA 处底噪抬升最为明显，说明该电路EMI源自此FPGA。此FPGA面积不大，很容易屏蔽，因此通过 EMC 认证没有问题，关键是此电路板射频频率输出信噪比差自身特性受影响。由于 FPGA 是此电路板的心脏，一旦定型，很难改动，如果

重新设计，等于是从头再来，不可接受。观察一段时间，我们发现该底噪抬升是随时间变化的，于是我们分别存储了底噪最高时和底噪最低时的两个结果如下：

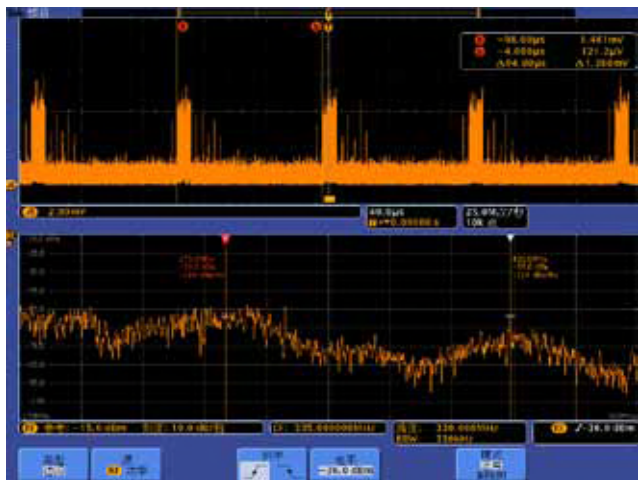


此时为底噪较高时，达 -65dBm。

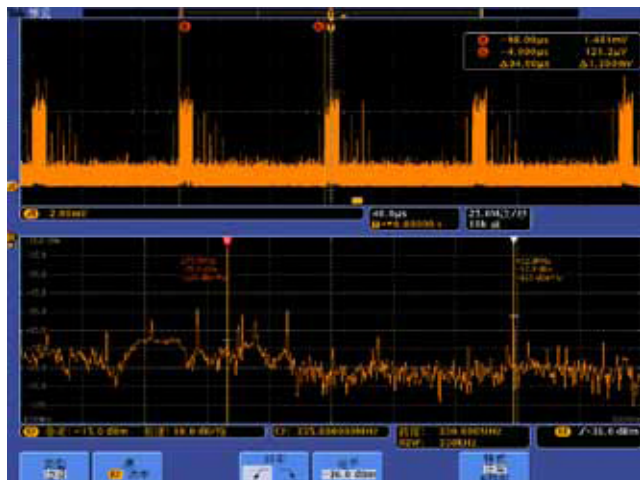


此时为底噪较低时，最高底噪幅度不超过 -80dBm。

对于幅度随时间变化的频谱，MDO 的优势在于调制域分析，为此我们打开 MDO 幅度随时间变化曲线显示功能，用 MDO 射频功率触发得到如下测试结果：



从测试结果看，触发点处底噪幅度最高，在 280MHz 以及 432MHz 处达 -59dBm。图中上半部分显示，突发幅度呈周期性变化，用 MDO 时域光标，可以测试出其周期为 94 $\mu$ s。我们移动代表频谱分析时间段的橙色条到突发幅度右侧的几条线处，得到测试结果如下：

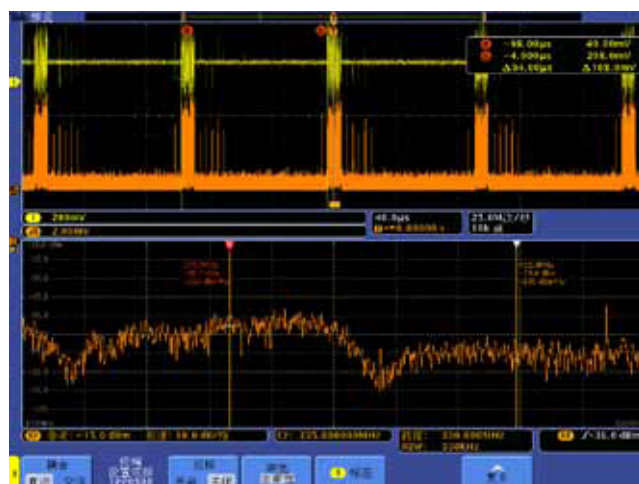


此时底噪明显下降，280MHz 处为 -71dBm，当我们再将频谱分析时间段右移至完全没有突发幅度处时，得到如下测试结果：



此时底噪已经降低到 -85dBm 一下，原来 280MHz 频点处被底噪淹没的 -73dBm 的信号此时已经显现出来。

由于该电路板 EMI 呈周期性变化，既然 FPGA 的设计难以在短时间内更改，我们能否通过有效的控制手段，让有用的射频信号在突发周期间隔中底噪较低的时刻发射，而在突发幅度时刻不发射有用信息？客户认为此方法可行。底噪呈周期性变化，必定与电路板中某种控制信号相关，虽然我们已经测试出突发底噪变化的周期，但如果我们不知道这种周期与哪种控制相关，上述设想就难以实现。客户对其内部控制时序相当熟悉，94 $\mu$ s 的周期刚好是该电路板高速 USB 信号传输控制周期。为了验证这一假设，我们将 MDO 示波器通道 1 接到高速 USB 控制测试点，同时测试射频频谱，得到如下结果：



以上测试结果充分证明了通道 1 中的高速 USB 信号与底噪突发抬升的规律相同，证明二者相关。高速 USB 的时序由嵌入式程序控制，因此只要在程序中控制射频在高速 USB 信号发出后延迟 50 $\mu$ s 发射，发射持续时间小于 40 $\mu$ s 即可。

#### 案例总结：

本案例利用 MDO 跨域分析及调制域分析功能，成功地确认 EMI 与高速 USB 信号相关，通过时序控制，跨域有效避免以前难以解决的问题。



## 案例七 利用泰克实时频谱仪发现瞬态EMI问题，用 MDO 追踪该 EMI 根源

待测试设备：某电子装置

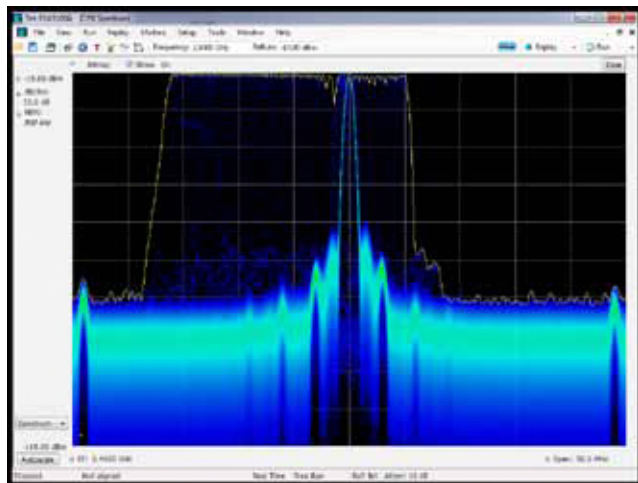
测试仪器：泰克 RSA5106，MDO4104-6 + BNC 电缆

面临的问题：

该电子装置为2.4GHz FSK射频发射装置，FSK速率约10KHz。该装置安装在某大型设备内部，定期将设备的工作参数传送到中央控制机房。该装置一般情况下工作正常，但如果有操作人员对大型设备进行控制面板的操作，该发射装置传送回的数据有问题，使得大型设备存在安全隐患。检修时用误码仪测试，发现操作人员每次按大型设备控制面板按键，该电子装置发射的FSK信号误码将剧增。更换大型设备控制面板及相关连接线，情况依旧。用频谱仪监测操作大型设备控制面板时的FSK频谱，并未发现问题。

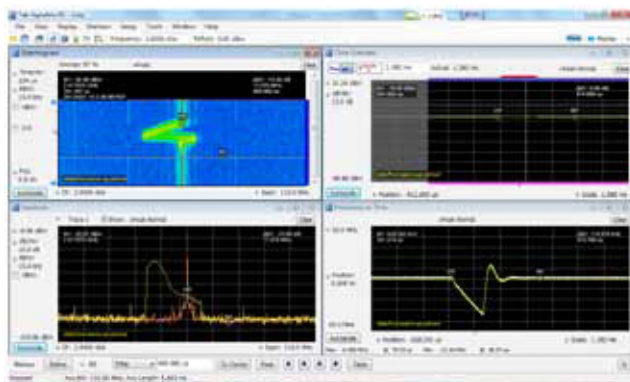
实测过程

我们首先拿MDO到客户现场，依然用频谱功能监测操作大型设备面板时的频谱，也没有发现问题。我们分析可能是存在问题为瞬态问题，第二天特地带来痛苦公司的实时频谱仪RSA5106。由于FSK频谱可能对发现问题造成影响，我们建议客户让该电子装置仅发射2.4GHz载波，操作大型设备面板，用RSA5106 DPX功能去查找问题。由于RSA DPX功能可以100%发现频域上驻留时间大于3.8uS的偶发事件，在按压大型设备控制按键时，观测到如下DPX频谱：

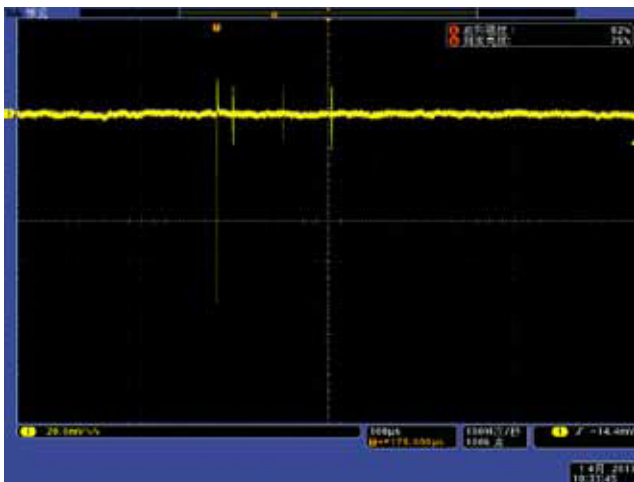


在DPX频谱中，颜色越蓝，表示信号驻留时间较长，2.4GHz载波和底噪颜色较深，而那些暗淡的蓝色表示在操作大型设备控制面板时，FSK发射装置频率发生了改变，只不过这个改变持续时间很短。利用RSA5106的频域触发功能，我们轻松将这一过程捕捉

下来，然后进行时间相关的多域分析，其结果如下：

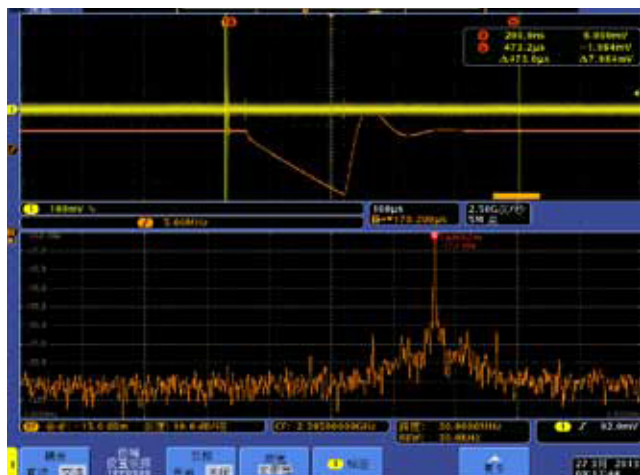


在这一结果中，左上角显示了FSK发射装置2.4GHz载波在这一变化过程中的三围频谱，右上角显示这一变化过程中的2.4GHz载波的幅度随时间的变化，左下角为2.4GHz载波的频谱，右下角为2.4GHz载波频率随时间的变化。由此测试结果可知，该2.4GHz载波在操作大型设备控制面板时，幅度基本不变，但频率有瞬态畸变，最大变化约-16MHz，变化持续时间约470uS。由于大型设备控制面板按键为人工手动，其重复时间约秒的量级，也就是说，在1秒的重复周期内，2.4GHz载波的频率在420uS瞬时内变化了16MHz，这种情况，普通频谱仪很难监测到，这就是以前未能找到问题的原因。由于该FSK发射装置调制速率约10KHz，即周期约100uS，420uS频率的变化足以引起误码。虽然找到了问题，但如何解决此问题？误码必须找到引起该问题的根源。误码分析一下引起该问题的前因后果：操作人员按了大型设备的按键引起监控发射装置的性能变化。一般情况下，按键所能造成的干扰，不是在地线上，就是在电源上。于是我们将MDO4104-6的示波器通道1连接到FSK的供电电源上，按压大型设备控制按键，果然在波形上监测到干扰毛刺：

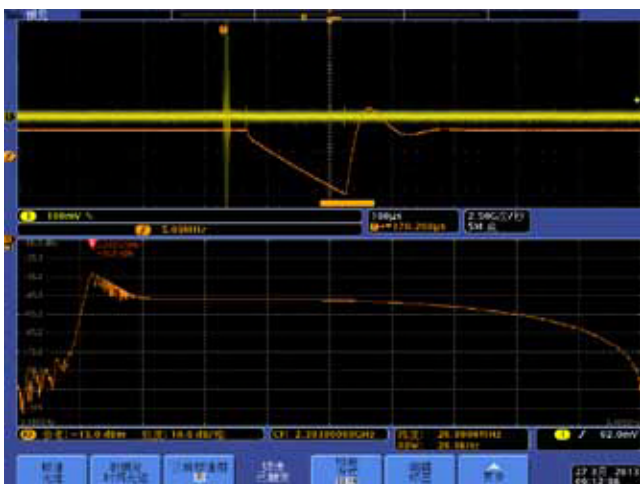
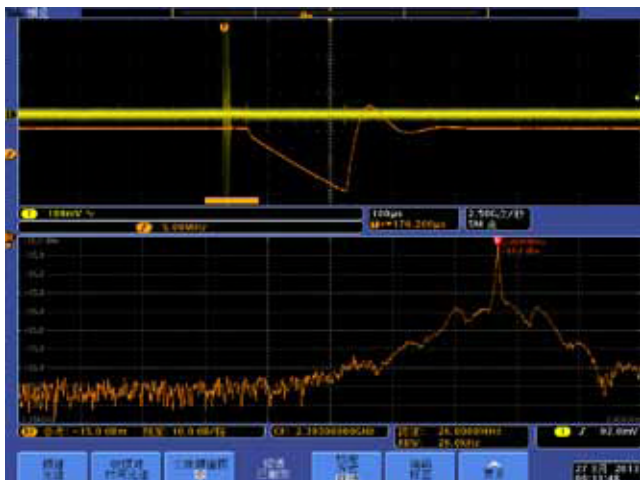




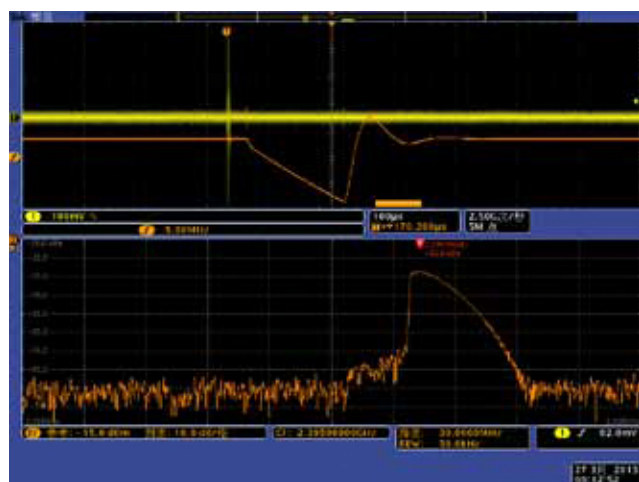
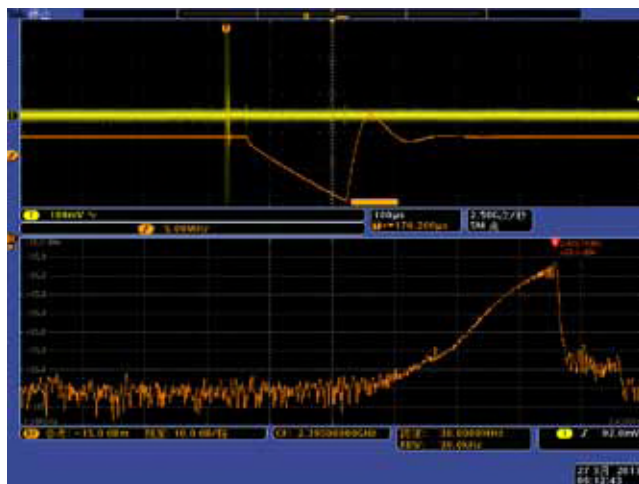
虽然在按压控制面板时 FSK 发射装置的电源上有干扰毛刺，我们如何判断这个干扰就是引起误码的根源？MDO 独特的跨域分析功能，跨域很好地将 2.4GHz 射频信号与电源毛刺关联起来。我们用 MDO 示波器通道 1 的电源毛刺做触发，同时采集 2.4GHz 载波，并在时域中显示 2.4GHz 载波的频率随时间变化的波形，得到如下结果：



由测试结果可以看出，电源毛刺出现后，2.4GHz 载波的频率随之发生畸变，其变化的波形与 RSA5106 所测



试的波形相同，持续时间都是 470uS 左右。调整上图上半部分代表频谱分析时间窗的橙色条在时间轴上的位置，我们可以看到 2.4GHz 载波频谱变化的过程：



通过这一测试，我们可以断定引起 FSK 发射装置误码的根源就是按压大型设备控制按键所造成的传导 EMI 干扰问题，只需在 FSK 发射装置电源上适当滤波，就很容易解决。

#### 案例总结：

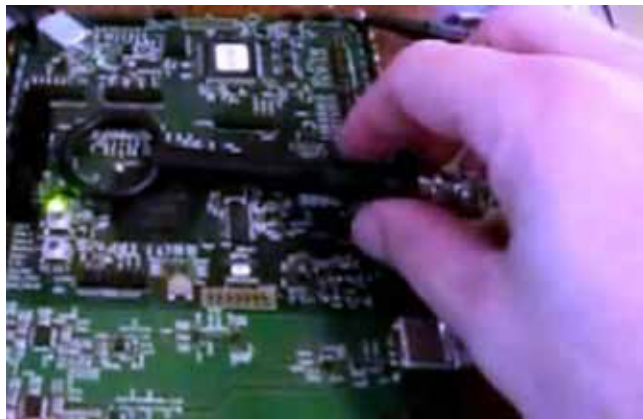
本案充分展现了 EMI 诊断与 EMI 预认证的关系。泰克实时频谱仪相当于 EMI 预认证测试仪，该仪表具有发现瞬态 EMI 的优势，并且能够测试 EMI 的影响。即使如此高端的频谱仪，也无法追踪 EMI 的真正来源。MDO 跨域分析特性，轻松诊断出该 EMI 与电源瞬态波动的关系，顺利地追踪到 EMI 的根源。

# MDO EMI 诊断方案（二）

应用产业：任何与电信号相关产业

应用行业：任何电子设备、电路板设计

应用技术：时域分析、频域分析



测试需求：

- 发现 EMI 问题
- 找出 EMI 根源

传统测试手段：

- EMI 接收机进行 EMI 预认证
- 频谱仪发现 EMI 问题
- 用近场天线找出 EMI 位置
- 用示波器对低频 EMI 进行分析

在测试中遇到的问题：

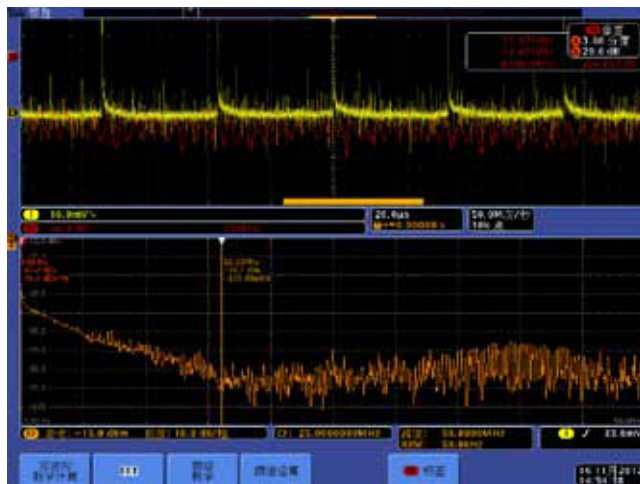
- 认证机构给出不合格报告后不知原因
- 某些设备受环境制约无法进行屏蔽，需找出根源从设计上解决
- 传导类干扰可能无法用天线测出
- 用示波器分析低频干扰局限性较大

泰克测试方案及优势：

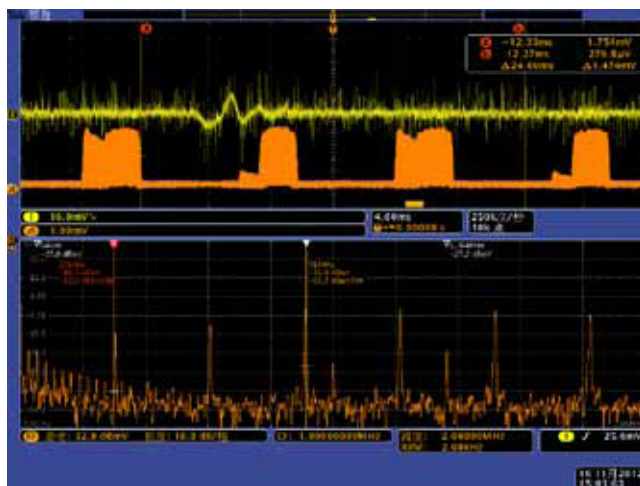
- 方案：MDO4014-3 + 近场天线 + TPA-N-VPI

■ 特点：

- a) 五合一
- b) 跨域分析
- c) 频谱高灵敏度、分析带宽
- d) 可测试射频幅度随时间的变化，分析 EMI 产生的根源
- e) TPA-N-VPI 可将示波器探头直接连接到射频输入端进行传导类 EMI 测试



MDO 时频对应测试电源上的 EMI



MDO AvT 功能分析 EMI 产生的时间周期，从而分析 EMI 的根源

# MDO 在 EMI 测试中的应用

待测试设备：客户产品

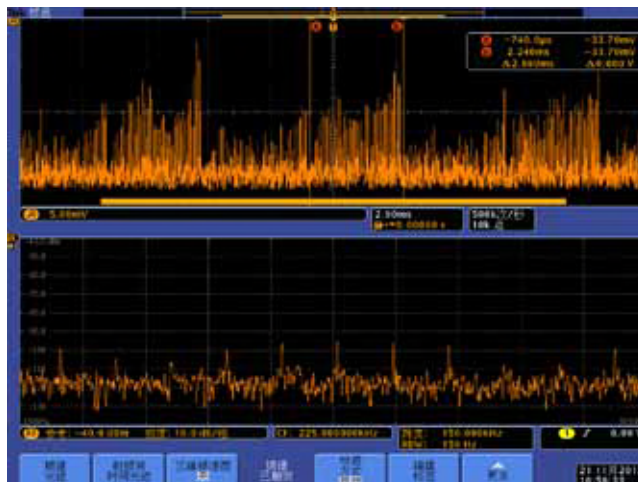
测试目的：验证客户产品的 EMI，并找出超标原因

测试仪器：泰克 MDO4104-3

该客户的产品是某型号小的电机（风扇）。该型号产品研发成功后，需通过EMI标准测试。之前该客户已经将产品送出去测试了3次，每次测试的花费都在1万人民币，却始终没有通过。检测机构给出的报告也只知道告诉了超差的频点，没有给出超差的原因。

在MDO上连接好近场探头后，测试电机的射频辐射，发现在150KHz至20M频率范围内辐射很大，特别是在500KHz附近。经过和客户的沟通后，了解到该型号产品使用的是PWN调制，调制频率为固定20KHz，通过改变占空比来改变转速。了解到该情况后，使用了

MDO 的时域频域联调功能，测试结果图如下



通过 MDO 的时域频域联调功能，做幅值随时间变化的曲线，可以发现辐射功率基本上以3ms为一个大周期。在每一个周期内，射频辐射功率逐渐增大，在周期结束时到达最大值。客户在看到测试结果后，确认了和 PWN 调制相关。因为在 3ms 周期内辐射功率的变化基本和 PWM 波的占空比变化成正比。

客户对测试结果表示满意。



# 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 MDO4000B 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，在设计应用变化之前、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  $\pm 10$  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什么价值。
- 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，在设计应用修复前和设计应用修复后，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。

- 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拾拾装置，用来捕获关心区域的电场 (E) 或磁场 (H)。

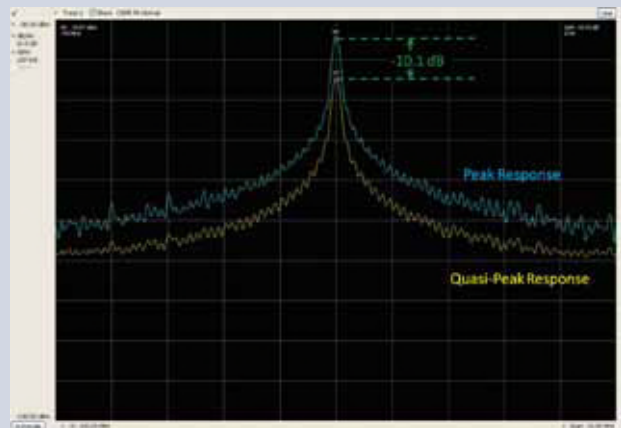
制造商销售一系列探头，这些探头在尺寸、灵敏度和频率范围之间实现了最好的折衷，您可能需要在工具箱中放上所有规格的探头，才能解决问题。是选择磁场探头还是电场探头，可能取决于设计中的信号位置或供电特点(是电压还是电流)。例如，存在金属防护罩可能会抑制电场，应用中可能必需使用磁场探头。

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 20 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 20 dB。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 8ms 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。

## 调试 EMI：是峰值、不是峰值

### ■ 应用案例

#### 应用实例



图 1：泰克 MDO4000B 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 MDO4000B 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 MDO4000B 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。

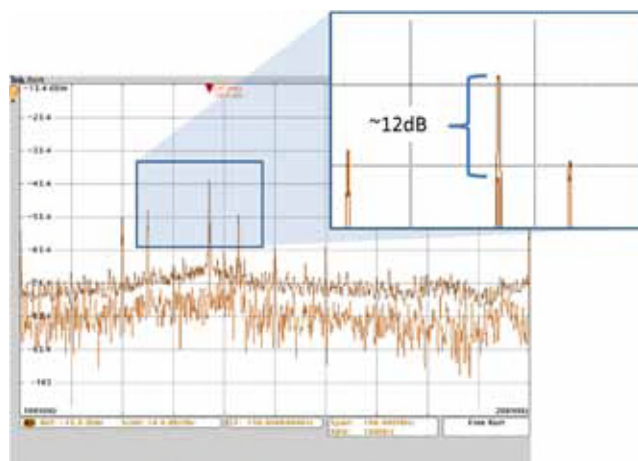


图 3：在 Max-hold 中，在 137 MHz 处使用峰值检测捕获的信号。细节显示信号有时提高 ~12dB。

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 MDO4000B，您距找到问题、并使用测量进行验证只有一步之遥。MDO4000B 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。

MDO4000B 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。

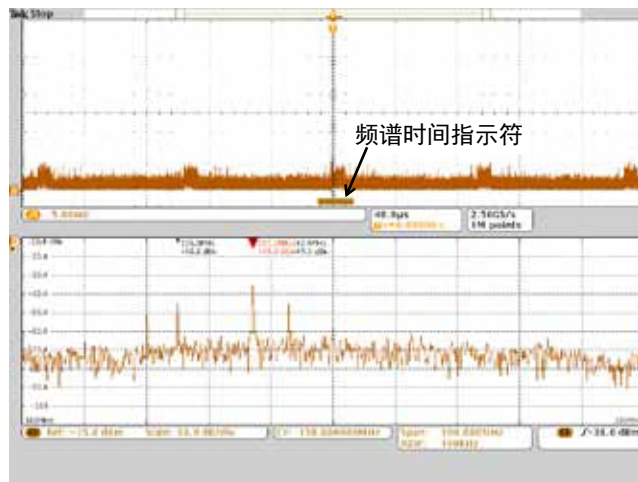


图 4：RF 幅度随时间变化曲线显示不同时间上的周期突发能量，频谱中显示了频宽。



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 MDO4000B 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 $\mu$ 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。

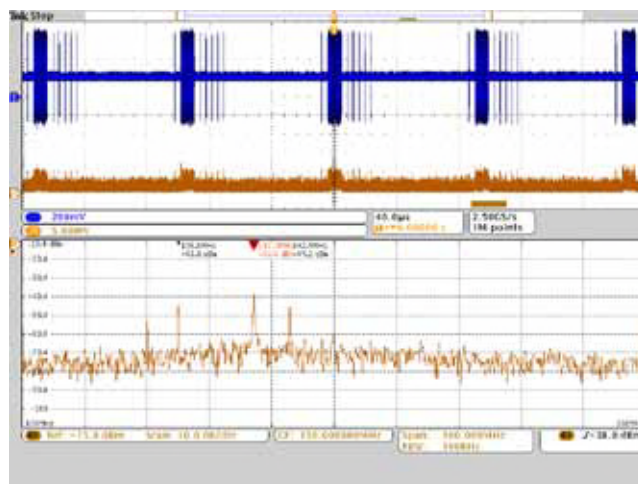


图 6: 通道 11 显示了 USB\_HS 头部的电压。很明显，这个头部的高速数据突发与 137 MHz 处的突发能量一致。

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。

## 调试 EMI：是峰值、不是峰值

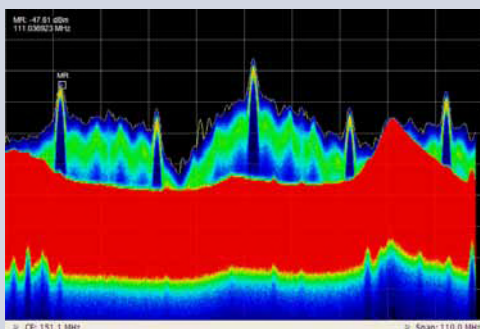
### ■ 应用案例

#### 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，提供高可靠性。

了解更多：<http://cn.tek.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，还可能用到示波器和逻辑分析仪。通过使用 MDO4000B 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。MDO4000B 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。