

选择正确的频谱分析仪

应该购买什么类型的频谱分析仪 — 扫频式、FFT（快速傅立叶变换）还是实时式？最合适的频谱仪类型也取决于多种因素。本应用指南介绍这三种频谱分析方法的工作方式，并针对您可能的应用，对其测量结果进行对比。

扫频式频谱仪

扫频式频谱分析仪的最初设计目的是显示广播信号的频谱，是一种相对庞大笨重，耗电量大的仪器，用于测量发射机质量，例如谐波、杂散等。有线电视行业很快采用了这种分析仪来维护有线设备。

扫频式频谱分析仪占据市场主导地位将近 50 年，它的原理非常简单：即按顺序测量每个频率，并在 x-y 坐标轴上标绘出结果。

在图 1 中，X 轴上的每个点代表一个时间点。连续的时间点与连续的频率点相对应。在早期的分析仪中，这一点是通过锯齿波压控振荡器 (VCO) 实现的。

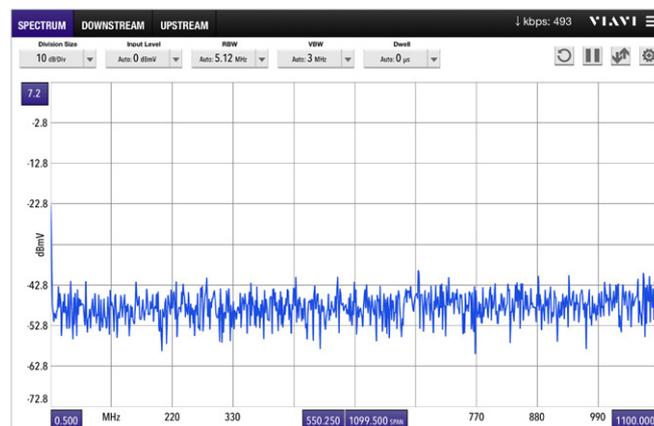


图 1. 频谱分析仪显示

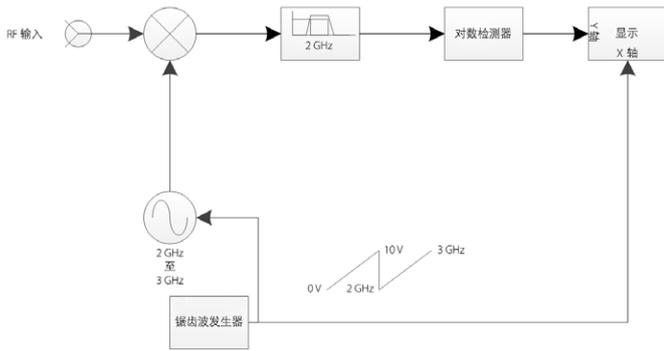


图2. 扫频式频谱仪方框图

在图2中，当锯齿波发生器生成零电压时，VCO的频率设置为2 GHz。直流信号将上变频为2 GHz。2 GHz处的带通滤波器(BPF)将滤除其通带之外的信号，对数检测器生成与输入功率成比例的电压。此外，当锯齿波发生器生成1 V时，VCO生成的频率为2.1 GHz，100 MHz信号经混频器后向上变频为2 GHz。经过带通滤波器和对数检波器，在图形上生成另一个点。这种情况会继续，直至锯齿波电压达到10 V为止，VCO生成3 GHz的本振频率，使1 GHz信号上变频至中频2 GHz，在图形上生成对应的点。

最初，锯齿波和对数放大器的输出分别施加到阴极射线管(CRT)的X轴和Y轴激励上，得到频谱显示。通过对容差因子进行计算和加总，结果表明必须对锯齿波发生器进行非常精细的控制：1 mV的电压变化会导致本振(LO)出现1 MHz的频率变化。这样就需要使用锁相环控制频率。通过引入微处理器和锁相环，X轴锯齿波和输出频率可以间接相互关联，从而实现了精确的频率控制。

扫频式分析仪在一个时刻只是测量一个频点的信号。如果频谱分析仪在X轴标绘了801个点，则表明其以精细的时间步长进行801次测量。如果分析仪用20 mSec来扫描整个带宽，则每个频率点将占用20 mSec/800的时间，即每个点25 uSec。屏幕上的结果仅显示在该频率的25 uSec时间范围内发生的情况。

扫频式频谱分析仪提供了许多优化连续信号测量的方法。用户可以调整每个点上的分辨率带宽(RBW)、视频带宽(VBW)以及扫描或驻留时间。用户可以计算测量结果的平均值，还可以实现每个频点数据的最大值保持。

扫频式频谱分析仪的缺点在于会遗漏许多信息。如果扫频式频谱正在100 MHz处进行测量，但在200 MHz处发生了一个窄带事件，则您在频谱仪上将看不到该事件。通常，扫频式频谱分析仪使用全展宽的2%或更少的分辨率带宽。这意味着在出现瞬态信号时有98%的机率会遗漏事件，即使在最优设置的情况下也是如此。

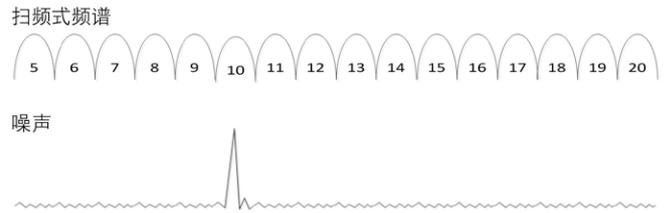


图3. 扫频式频谱分析仪示例及脉冲噪声

在图3中，分析仪在5 MHz处开始，并按顺序连续测量到20 MHz。仅在测量10 MHz时出现了脉冲噪声事件。在这种情况下，显示器将仅显示10 MHz处的噪声。如果此事件不是频繁发生，则用户可能会误将此噪声当作只在10 MHz出现的信号。



图4. 显示脉冲噪声和DOCSIS载波的扫频式频谱分析仪

图4显示采集的上行频谱。测量一分钟之后，最大保持迹线在4、10、11、12和13 MHz处显示出尖峰。很难辨别这些尖峰是一个偶发的上行载波的部分，还是噪声。它实际上是按1秒间隔重复出现的脉冲噪声。

快速傅立叶变换(FFT)分析仪

快速傅立叶变换(FFT)分析仪克服了扫频式频谱仪的采样特性造成的缺陷。它没有使用本振混频，而是将输入信号连接到模数转换器(ADC)，这样能同时捕获所有的频谱信息。



图5. FFT分析仪

FFT分析仪必须符合奈奎斯特要求。奈奎斯特发现，要获得准确的信号数学模型，采样率至少必须是信号带宽的两倍。对于85 MHz的信号，至少需要采样到170 MHz。但是，这种采样也有副作用，称之为假频。如果按170 MHz采样，则86 MHz处的信号在数学变换后会显示在84 MHz处。

因此，就需要使用滤波器来消除假频成分。对于 70 dB 动态范围，滤波器需要过滤掉可用范围内的假频成分。迄今为止，还没有任何一家公司生产出可以完美地让 84.99999 MHz 信号通过，并将 85.000001 MHz 信号减少 70 dB 的滤波器，因此需在采样率需留有裕量来简化抗假频滤波器的设计。如果用 200 MHz 的频率采样，则滤波器需让 85 MHz 频率通过，并阻止 115 MHz (200-85) 的信号。这是一种非常切实可行的滤波器结构。

如果用 200 MHz 的频率采样，并且信号幅度解析范围为 70 dB，则需要 12 比特分辨率的 ADC。比特率将是 12 x 200 MHz (或 2.4 Gbps)。在几年之前，采集和计算该数据的唯一方式是使用 FIFO。

FIFO 得到数据之后，数字信号处理器 (DSP) 可将数据转换为一个频谱图。对于 300 kHz 的分辨率带宽 (典型的频谱分辨率带宽)，数据采集时长须比 1/300 kHz (即 3.333uSec) 长。为了使 FFT 算法发挥作用，样本的数量须为 2 的整数幂。如果 ADC 的采样率是 200 MHz，则每个采样持续 5 nSec。由 1024 个样本组成的样本区组持续 5.12 uSec。这就满足了 300 kHz 分辨率带宽所需的样本要求。

傅立叶变换的另一个缺点是：如果开始和结束样本的能量都不是 0，则会发生能量拖尾。通常可用一个窗函数来处理。在许多情况下，会使用汉宁窗(Hann Window)来消除能量拖尾。

这些计算和采样占用大量的处理能力直到最近，DSP 处理能力也无法跟上 200 MHz 的采样率。在大多情况下，处理数据花费的时间比采集数据花费的时间长很多，FFT 分析仪的数据捕获功能在 99% 的时间内都处于空闲状态。如果时间发生在 ADC 正在采集数据时，则结果是有意义的，但如果事件是在采样时段外发生的，则信息无法被采集，事件被遗漏。通常，事件发生在采样时段之外。

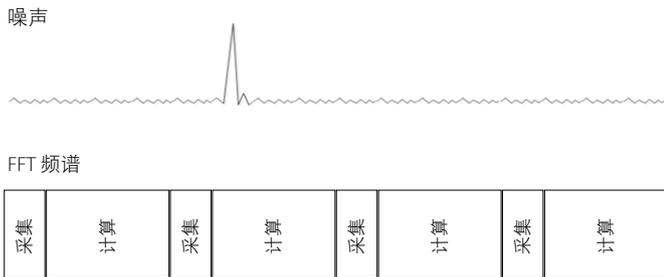


图 6. FFT 示例频谱

图 6 中的噪声与图 3 中的噪声相同。在 FFT 情况下，事件在 DSP 正在处理以前采集的信号时发生，因此显示结果完全未显示任何噪声事件。



图 7. 显示脉冲噪声和 DOCSIS 载波的 FFT

图 7 显示捕获的 FFT 上行频谱。几分钟之后，即使它每秒更新 10 次，它也只能偶尔显示 DOCSIS 信号的突发波形，且很难捕获到脉冲噪声。

实时频谱分析 (RTSA)

实时频谱技术已经在声纳上应用了多年。声纳运行在 10 kHz 的音频范围内，而有线电视在 MHz 级别频率范围内运行。RTSA 使用的概念与 FFT 分析仪相同，只是计算时间缩短，并且采集和计算同时进行。

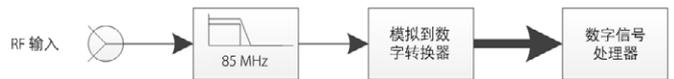


图 8. 实时频谱分析

在实时频谱仪，去掉了 FIFO。由于速度至关重要，因此 DSP 在硬件中执行。现场可编程门阵列 (FPGA) 执行汉宁窗和 FFT 的功能。数据出现在标准频谱图上，而不是使用瀑布显示。

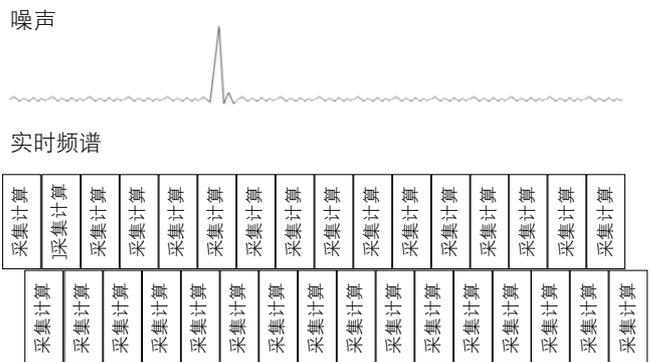


图 9. 实时或超级频谱捕获

图 9 显示在后台运行的两个实时 FFT 系统。这两个系统有 50% 相互重叠。每个 FFT 的运行频率为每秒 200,000 次。它的数据处理部分计算上 1 秒内的最大保持数据。此迹线称为“实时最大值”。可确保在采集时段内不会遗漏任何脉冲信号。



图 10. 带有实时和最大值迹线以及 DOCSIS 和脉冲噪声的 VSE-1100 超级频谱显示

图 10 显示超级频谱模式下 VIAVI Solutions™ VSE-1100 频谱分析仪中第一个显示的实时最大值迹线。该仪器可在不到 1 秒的时间内清晰地采集所有 DOCSIS 信道以及脉冲噪声。

实时超级频谱显示的重要性

在查找干扰侵入和噪声时，利用实时（超级）频谱可显示出整个上行频谱，并且不管噪声出现在线路中的何处，都不会遗漏。对线路进行的故障排除越深入，遇到的调制解调器流量就越少。如果处在某个节点上，则出现的流量与头端处出现的流量相同——在节点上有 100 个活动调制解调器的情况下，它们都会出现。如果从某个节点再往下深入 2 或 3 个放大器，则可能会深入到一两个调制解调器，并且可能没有活动调制解调器产生流量。使用 VSE-1100 数据包面板和超级频谱功能，您可以确定与单个调制解调器突发关联的噪声频谱特征，并在整个线路中跟踪该频谱特征。



图 11. VSE-1100 数据包面板显示（包含导致码字错误的脉冲噪声）

图 11 显示可确定包含码字错误 (CWE) 的数据包的数据包面板功能。并非每个数据包都会受到影响，但在 800 个数据包中大约会有 1 个数据包显示 CWE。在使用载波电平图显示功能检测时，我们会看到发生 CWE 时数据包的频谱特征。使用超级频谱，技术人员就可以按照此频谱特性曲线来查找来源。



图 12. VSE-1100 双信道超级频谱

图 12 显示 VSE-1100 上行频谱分析仪的双路输入功能。为了使维护人员可以快速地定位产生噪声的支路，VSE-1100 提供了双端口输入功能，分别连接至两个支路的射频输入，在屏幕上同时显示两条实时谱线，用不同颜色来表示不同的输入。如图所示，技术人员可以清楚地看到，噪声处于端口 2（紫色输入）上，而不在端口 1（蓝色输入）上。

此外，由于上行噪声具有间歇性特性，因此重要的一点是加以标识并继续分析。如果您能够以秒（而不是分钟）为单位标识噪声路径，则跟踪到噪声来源的可能性就更大。

结论

在排除上行频谱问题时，需要减少猜测并获得更多事实依据。使用 VIAVI VSE-1100 提供的这种实时频谱分析功能，将有助于快速获得那些事实依据。超级频谱功能可捕获到每次瞬态信号并显示出来，而其他频谱分析技术对脉冲噪声的漏测的可能非常大。通过与数据包面板的上行频谱解调功能结合使用以确定噪声特征，超级频谱将帮助用户深入跟踪导致 CWE 的噪声。通过与双端口功能结合使用，技术人员能够快速跟踪到噪声的来源。