

使用 RT064 示波器分析数字高速信号的信号完整性

分析高速数据通信接口是一项重要任务，可确保信号完整性。这种分析的一个主要挑战在于连接物理接口和示波器，因为大部分数据通信接口不提供适用于射频的测试接头。这需要使用测试夹具连接高速数据通信中频接口和示波器的射频连接器，但这会影响信号完整性测量。带有高级抖动选件的 R&S RT064 示波器可以分析和分离抖动影响。此外，该选件自身还可以评估测试夹具和迹线的影响，有助于充分了解测试装置的影响。

R&S RT064 示波器能够深入分析信号完整性。抖动分析能够细分关键参数。除了误码率 (BER) 以外，可以通过时域轨迹、频域频谱和统计直方图查看所有参数。

此外，R&S RTx-K133 高级抖动选件具有两个新功能，将分析扩展到了常见的抖动参数之外：

- 合成眼图：让用户探索特定抖动参数对数据眼图的影响
- 传输通道阶跃响应的固有测量：包括被测设备、测试夹具和电缆的数据相关特性

阶跃响应非常重要，涉及测试夹具对信号完整性分析的影响。您可以根据阶跃响应执行各种测量，以了解测试夹具对分析的影响。

该应用说明描述了分析在误码率测试 (BERT) 中通过扩频时钟 (SSC) 和无抖动添加生成的差分信号 (8.125 Gbps, PRBS31)。信号在 PCIe Gen4 ISI 电路板 (PCIe-VAR-ISI) 上通过长迹线传播。电路板引起的码间干扰 (ISI) 是造成抖动的主要因素。

以相同的方式分析抖动至关重要，接收机将接收数据并为其计时。因此，示波器会捕获差分发射数据，并利用硬件时钟数据恢复 (CDR) 触发数据信号 (参见图 1)。

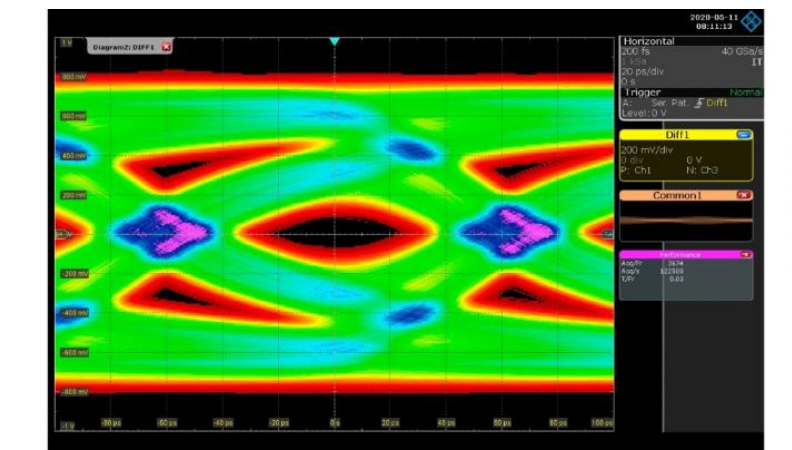


图 1: 具有较大 ISI 的 PRBS31 的差分眼图

在分析之前, 应根据周期性抖动分析需要的最小频率分辨率设置合适的采集时间。为了实现低至 40kHz 的分辨率(在开关电源(SMPS)范围内)和 40Gs/sample/s 的采样率, 记录长度设置为 2Msample(= $2 \times (\text{采样率}) / (\text{SMPS 开关频率})$), 因此采集时间为 $50\mu\text{s}$ 。

抖动分解算法将差分通道作为不归零(NRZ)信号进行分析。使用带宽为 16MHz 的二阶锁相环(PLL)配置必要的 CDR。

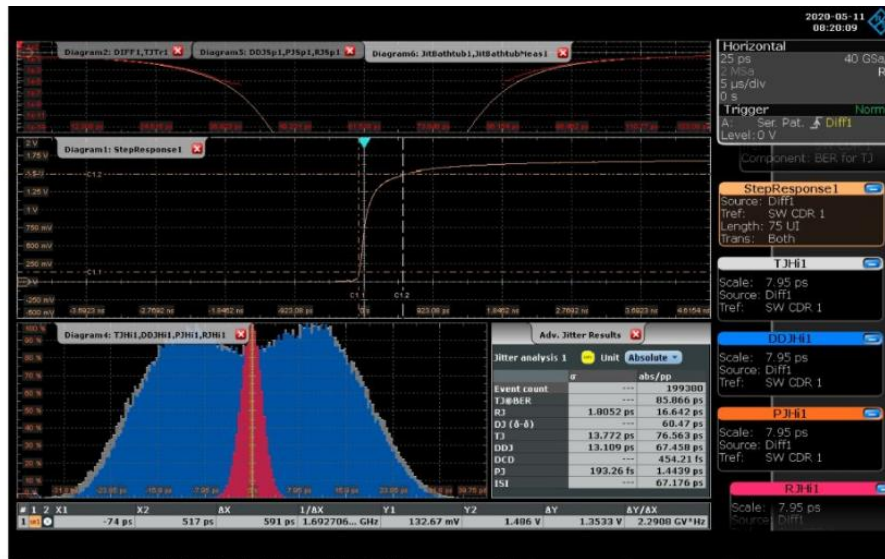


图 2: TJ 和 RJ 频谱结果

图 2 中的表格显示了抖动分解结果, 并以直方图的形式显示统计数据 TJ(总体抖动)、RJ(随机抖动)、PJ(周期性抖动)、DDJ(数据相关抖动)。与预期结果一样, 主要以 DDJ 为主。BER 浴盆曲线说明 BER 测量值和计算值吻合良好。这种分解算法的新颖之处在于图 2 中部所示的估计阶跃响应。阶跃响应是施加到通道传递函数的理想阶跃引起的结果。此估计将未经校准的测试夹具纳入考量。

用户可以配置估计过程中的阶跃响应时长; 在本例中, 此时长设为 75UI。阶跃响应时长的设置遵循三个原则:

- 1、配置的阶跃响应时长越长, 计算时间越长。
- 2、阶跃响应时长应大于通道内存。时长较长, 有利于详细分析阶跃响应。
- 3、眼图的运行时长应大于阶跃响应时长。

用户可以使用光标和自动测量等熟悉的工具来分析阶跃响应。本例中使用光标测量上升时间。通过测量上升时间 t_r , 用户可以根据有效用于单级低通滤波器的 $f_B = 0.35/t_r$ 公式估计通道带宽 f_B 。

因此，可以在频域中进行更加详细的分析。传递函数的超调、下垂和振铃等现象在频域中同样可见。

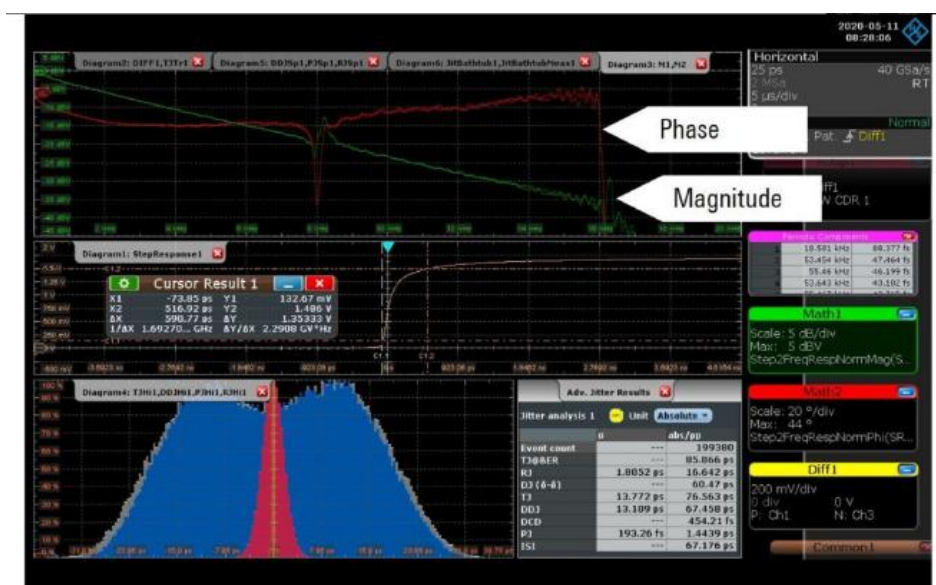


图 3：被测设备和测试夹具的阶跃响应以及幅度和相位转换。

除了直方图和估计的阶跃响应外，图 3 还以幅度（参见标记 M1）和相位（参见标记 M2）的形式显示了频域中阶跃响应的相关传递函数。为了根据阶跃响应计算频域中的传递函数，数学菜单提供了一组函数 [1]：

`Step2FreqRespNormMag(<channel>,<points>)`

`Step2FreqRespNormPhi(<channel>,<points>,<delay>)`

正如预期，幅度显示出频率相关的衰减，这主要由介电损耗引起。趋肤效应相当小。相位显示了迹线的色散。对于两条迹线，16GHz 以上的每个值都是噪声，因为通道带宽有限。在 8.125 GHz 处，由于数据速率而产生了一个伪影。将该测量结果与矢量网络分析仪 (VNA) 的测量结果进行了比较。由于 PCIe Gen4 ISI 板引入了 ISI，因此测量了相关的迹线（差分），并在频域中比较了传递函数和散射参数差分/差分 (S21 DD)（如图 4）。在 0 Hz 至 16GHz 频段内，两次测量均显示出良好的一致性。幅度偏差小于 1dB，相位偏差小于 5°。

参考文献[1] A.M.Nicolson，“在时域测量中形成阶跃响应的快速傅里叶变换” (Forming the fast Fourier transform of a step response in time-domain metrology)，《电子快报》，第 9 卷，第 14 期，第 317 页，1973 年。

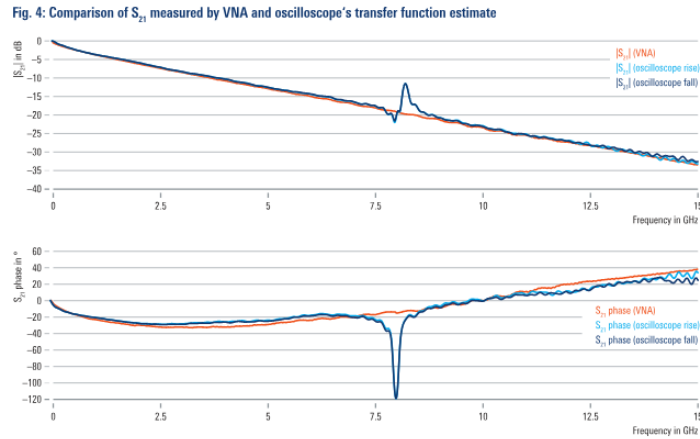


图 4：比较 VNA 测得的 S21 和示波器的传递函数估计值。

此测量与 VNA 测量进行了比较。PCIe Gen4 ISI 电路板产生 ISI，因此在频域中测量相关迹线(差分)，并比较传递函数和散射参数差分/差分(S21 DD) (参见图 4)。

两种测量均在 0Hz 至 16GHz 范围内显示出吻合良好。幅度偏差小于 1dB，相位偏差不足 5°。

总结：

R&S RTO 示波器分析数字高速信号的信号完整性。示波器精确测量 TJ、RJ、PJ 和 DDJ 等常见的抖动成分。示波器还可以分析传输函数，传输函数是导致确定性抖动 (DDJ) 的原因。由于传输路径的各个组件的可访问性具有挑战性，且信号驱动器随频率变化的输出阻抗通常未知，因此，传输函数的固有测量是了解确定性抖动 (DDJ) 来源的关键因素。