

推进综合的抖动测量和分析

- 概括介绍 测量方法
详细介绍

80SJNB - 抖动, 噪声和BER分析软件

- 完整的信号损伤分析套件

© 泰克, 2005年秋

Pavel Zivny

内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

总结, 问答

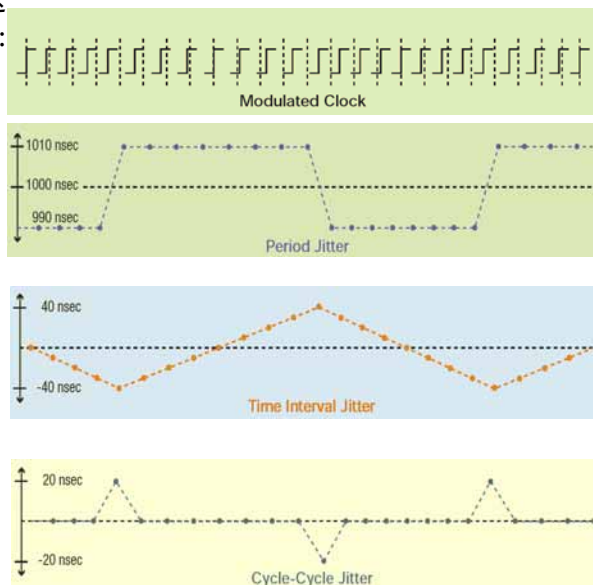
抖动的分类：

► “抖动是指数字信号有效时点与理想时间位置相比的短期变化。” (根据SONET)

‘理想位置’是一个问题: 谁是理想的? 考虑测量这个时钟:

我们可以进行如下操作：

1. 只画出周期随时间变化; 得到周期抖动
2. 或测量从它到参考时钟边沿的时间间隔, 或PLL
(周期定时误差的积分)
这是时间间隔误差, 或TIE, 抖动
3. 或只画出较上一个周期的变化: 占空比抖动
(这是周期抖动偏差)



我们关注哪些抖动? ... 取决于DUT。例如：

- 独立式频率振荡器
信号是时钟，可以：
 - 跳频
 - 扫频 (SSC – PC中的扫频时钟)
 - 等等

适合周期抖动

- 串行数据流发射机
信号是数据流, ISI (码间干扰)是主要问题:
 - 测量 DDJ (数据相关抖动) 分量, DDN (数据相关噪声)
 - 其它分量 (PJ – 周期抖动, RJ 随机抖动)

适合TIE (时间间隔误差) (相对于“黄金标准PLL”恢复时钟的时间间隔误差)

哪些工具可以测量哪种抖动

<u>时间间隔误差</u>	<u>周期间</u>	<u>周期</u>
➤ 实时DSO (数字存储示波器) 恢复整个波形→ 可以测量一切抖动。目前, 它可以检定和分析串行数据 抖动, 时钟源, PLL等 局限性是频率(或位速率), 分辨率 (频谱, 瞬间抖动, 多级调制)		
	➤ 实时频谱分析仪 擅长移动通信的复杂调制; 时钟, PLL及其动态性能; 等等 局限性包括跨度 (低于100 MHz) 和带宽 (低于10 GHz), 调制频谱大的信号	
➤ 等效采样示波器 /通信信号分析仪 (CSA) 为串行数据提供了最佳带宽。目前只用于噪声分析和BER Eye。 局限性包括没有实时捕获功能 – 仅支持重复码型, 出现一些抖动频谱混叠。		

内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍: 80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行数据分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

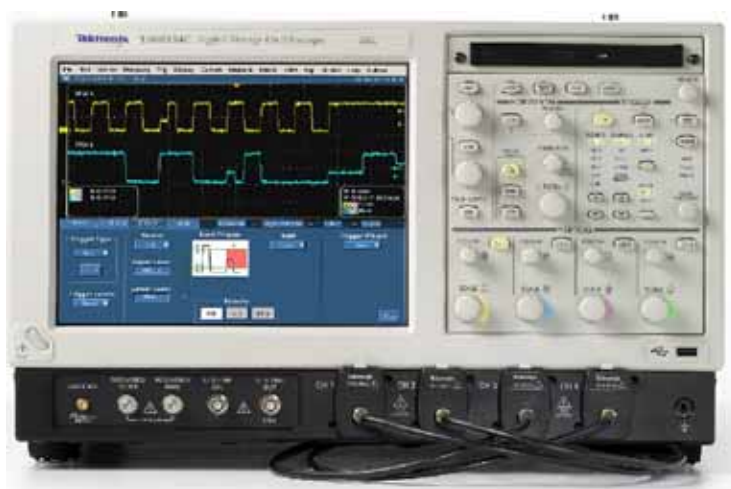
总结, 问答

工具#1: DSO

时间间隔误差

周期间

周期



可以测量一切抖动

那么DSO (数字存储示波器, 如TDS6000) 可以测量一切抖动吗?

时间间隔误差

周期间

周期

- **实时数字存储示波器**
分析 串行数据抖动, 时钟, PLL过渡过程等

它们可以达到多快的速度：

频率(或位速率): 最快的DSO (TDS6154C)可以达到5 GHz或10 Gb/s, 分辨率: 大约30 dB载波到本底; 本底抖动大约 430 fs;
8位数字转换器对16级调制方案足够了)

- 在以下几个方面，DSO是无可比拟的:
 - 宽带单次
 - 上GHz的调制宽度
 - 调试

处理抖动的工具:

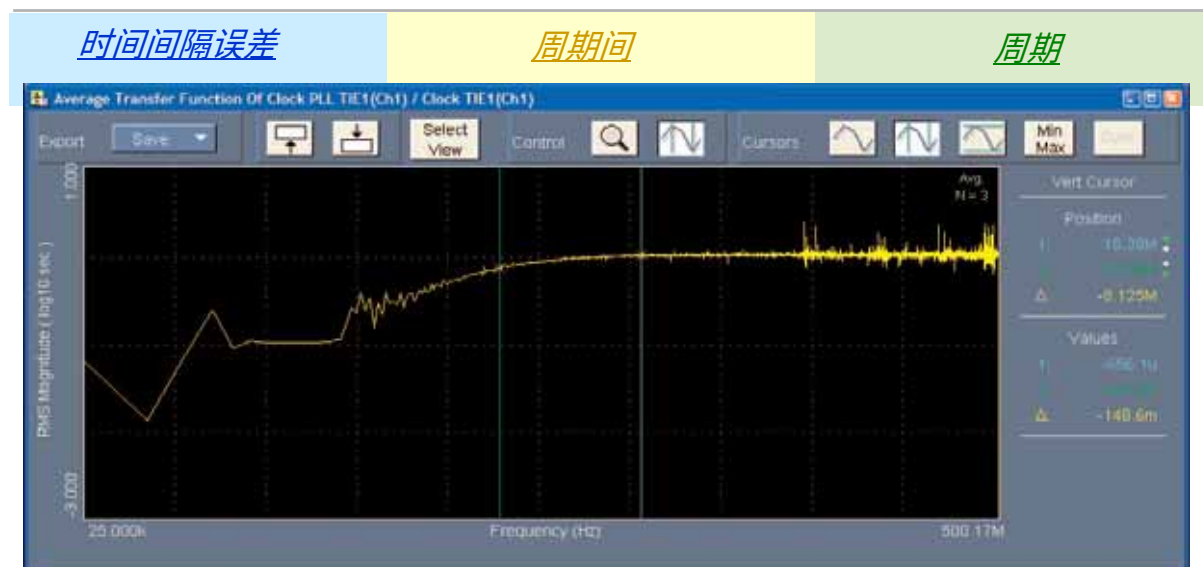
- 获得波形，提取各类抖动信息：泰克JIT3 V2 是一流的产品
- 根据标准处理串行数据流: RT Eye, ET Eye

DSO体现 RT模式强项



- 实际的(无混叠的) 时钟频谱达到 500 MHz (DUT: 带有SSC的时钟源)

DSO体现 RT模式强项



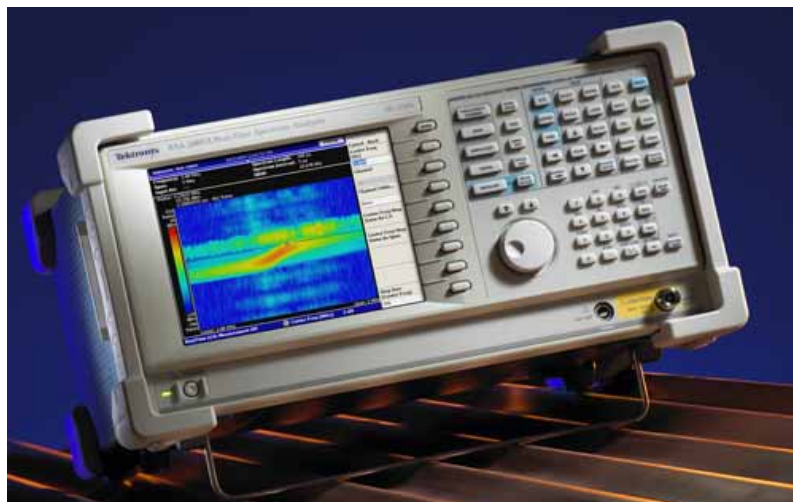
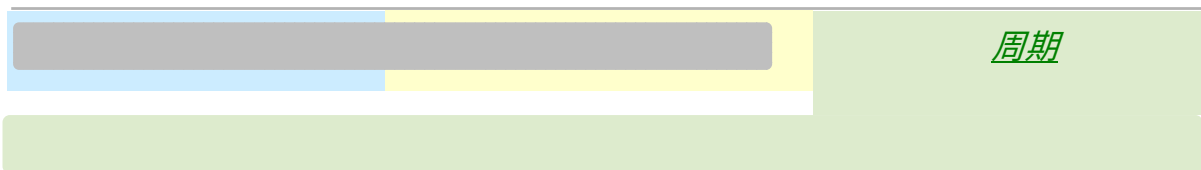
- PLL传递函数：示波器同时捕获PLL的输出和输入，这两者相除得到传递函数

内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

总结，问答

工具#2: RTSA – 实时频谱分析仪



触发, 捕获, 分析 – 频率

RTSA – 实时频谱分析仪

周期

- 移动通信中复杂调制中的抖动
- 时钟, PLL及其动态性能
- 频段越窄, 时间窗口越深(几秒), 可以捕获数据越多
- 支持传统频谱分析仪‘视频’ (如相位抖动)
- 频域触发

RTSA: 信号源分析

测量概况

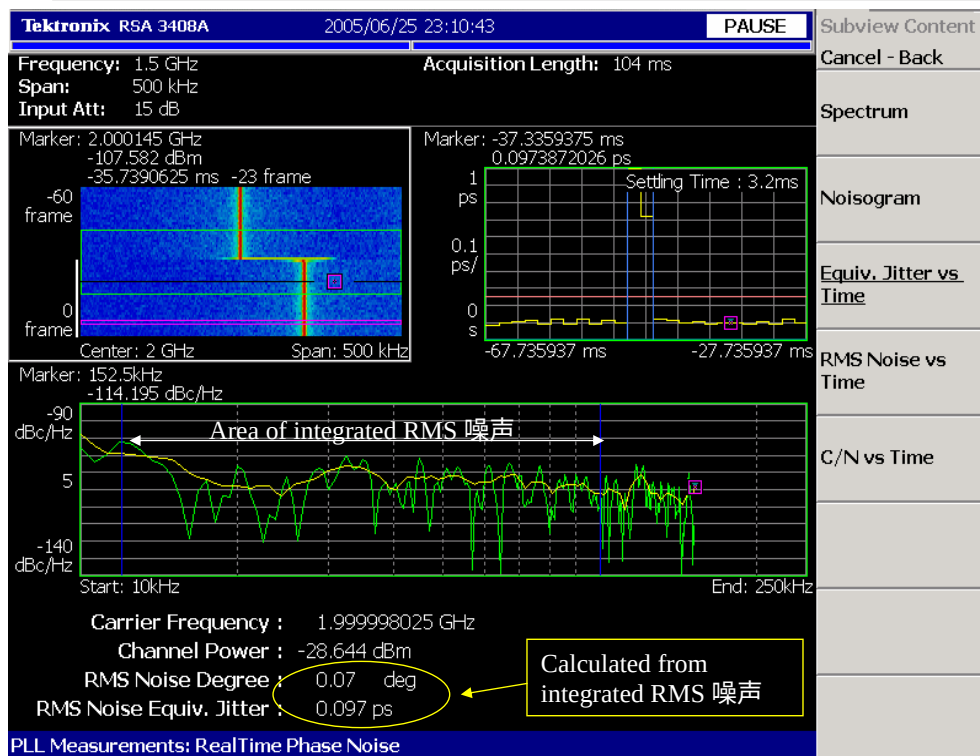
周期

- ▶ **相噪**
 - 功率频谱噪声密度
 - 综合相噪
- ▶ **相噪稳定时间**
 - 测量跳频信号上的相噪
- ▶ **随机抖动**
 - 随机抖动随时间变化
 - 随机抖动稳定时间
- ▶ **最大周期抖动**
 - 最坏情况下随机抖动随时间变化
- ▶ **噪声图**
 - 相噪随时间变化
- ▶ **杂散信号**

RTSA信号源分析测量套件

随机抖动

周期

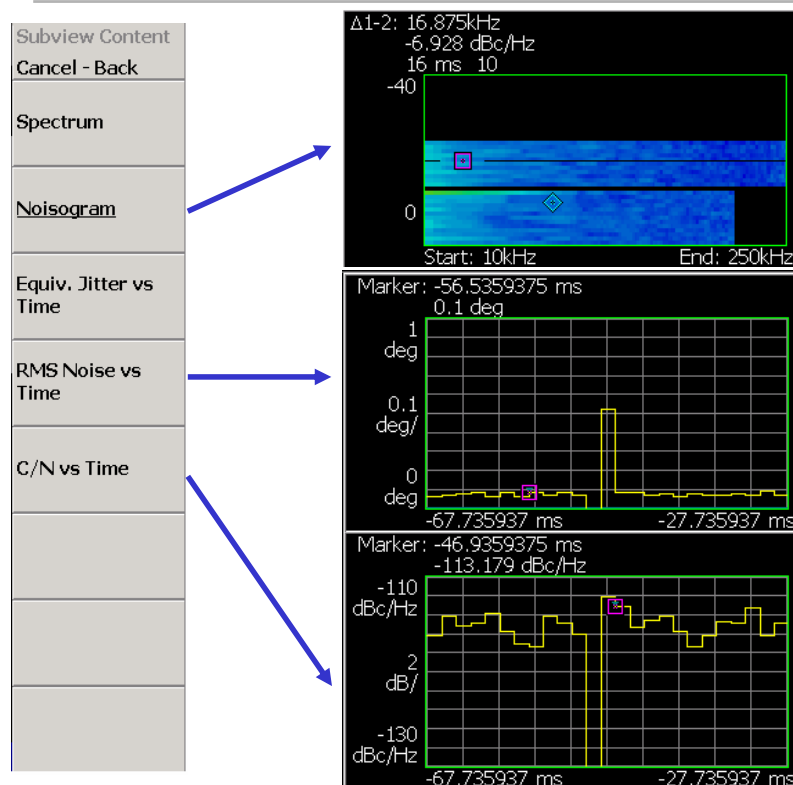


- ▶ 计算随机抖动(RJ)
- ▶ 作为RJ随时间变化测得RJ稳定时间
- ▶ 2.5 ps门限值时为3.2 ms

信号源分析测量套件

相噪随时间变化, 抖动

周期

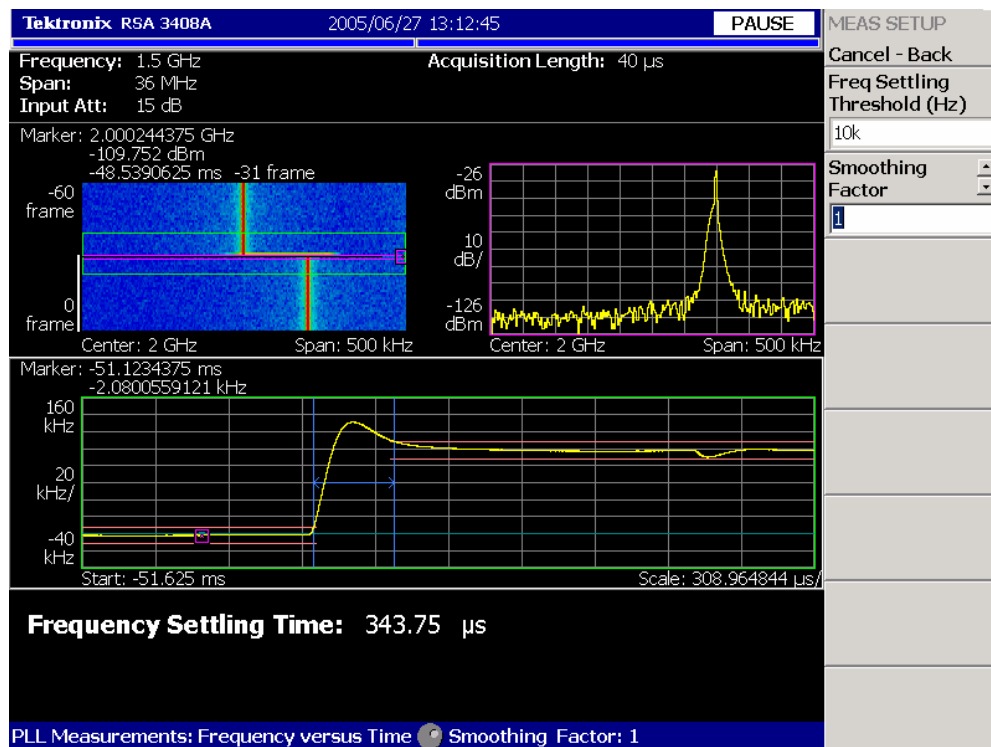


- ▶ **噪声图**
 - 横轴: 频率偏置
 - 竖轴: 时间
 - 颜色: C/N比(载噪比)
- ▶ **RMS 噪声**
 - 度数随时间变化
 - 弧度随时间变化
- ▶ **C/N随时间变化**
 - 显示用户选择的频率偏置上“载波与噪声比”变化的归一化值

信号源分析测量套件

频率随时间变化

周期



稳定时间测量

17 | 2005/10

V0.90

Tektronix

内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

总结，问答

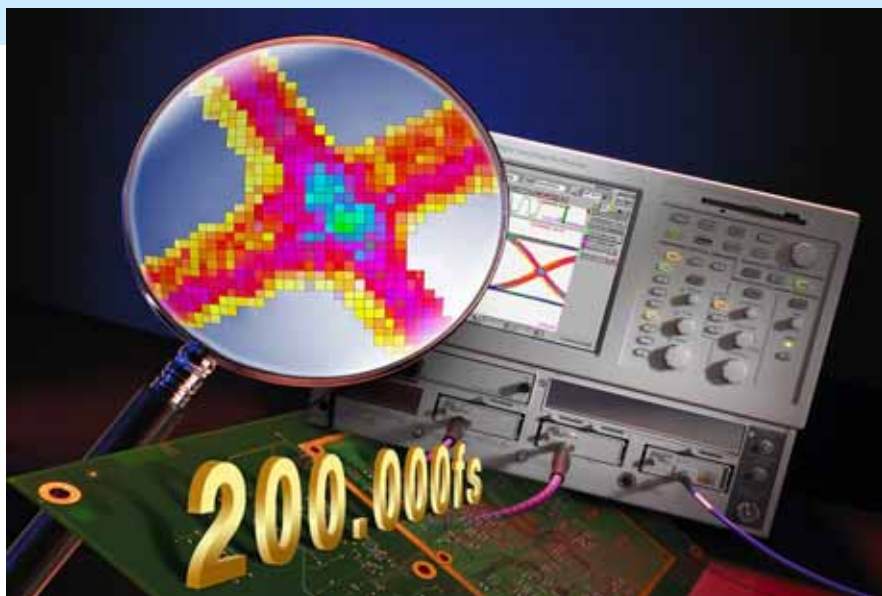
18 | 2005/10

V0.90

Tektronix

工具#3: 采样示波器

时间间隔误差



频率最高, 抖动最低

采样示波器

时间间隔误差

➤ 等时 **采样示波器** /通信信号分析仪 (CSA)

采样示波器拥有非常高的带宽，目前已经超过 70 GHz，提供了无可比拟的时域信号保真度。

- 采样示波器依赖重复码型 – 不可能捕获单次信号。对重复码型，其提供了最佳的性能价格比。
- 采样示波器使用的抖动分析工具: 80SJNB软件包
在所有 CSA8000, TDS8000, 8000B和8200示波器上运行
- 目前泰克采样示波器是唯一通过噪声分析和BER 眼图估算扩展抖动分析的示波器

详细介绍:

CSA8000采样示波器:80SJNB 抖动– 噪声 – BER

时间间隔误差

- 串行数据链路抖动分析的目标是BER检验和分析。
- 直到现在，BER分析中一直省掉了 *噪声*
- 如果没有噪声，BER分析是不全面的，80SJNB是第一个全面进行BER分析的工具(同时考虑了抖动和噪声)

由于这是业内新开发的技术，因此我们将详细介绍这一技术。

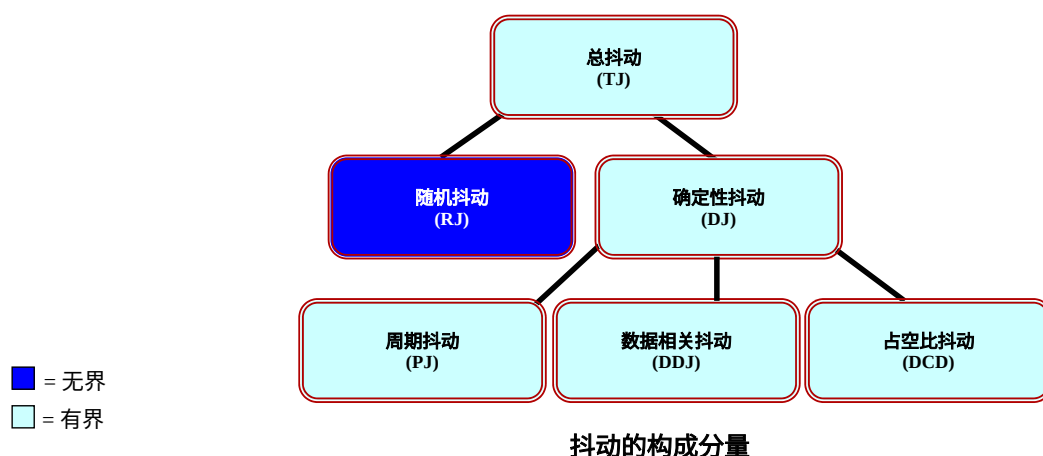
内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

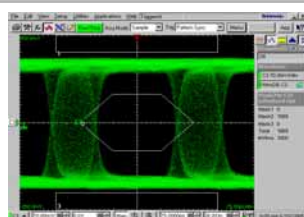
总结，问答

可以分析抖动 ...

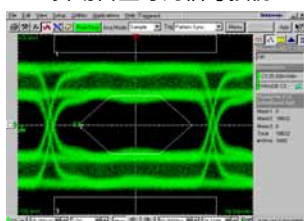
- ▶ 时间间隔误差 抖动分析，用于串行数据传输领域
 - 把抖动分解成各种分量，提高了精度及考察BER性能根本原因的能力



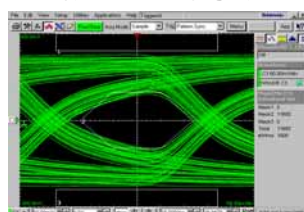
现实世界:



抖动占主导的信号损伤



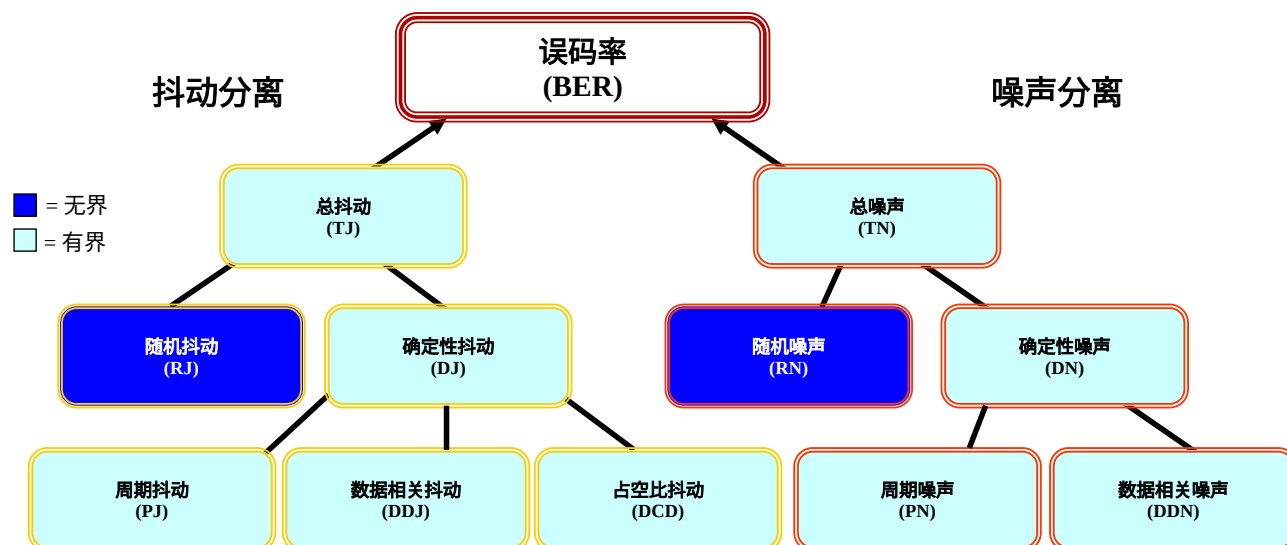
噪声占主导的信号损伤



抖动和噪声信号损伤

- ▶ 有时，通信链路的BER只受抖动限制
 - 抖动分离可以查看根本原因
 - 可以精确地进行BER估算和作出浴盆曲线
- ▶ 有时噪声在BER中占主导地位
 - 抖动分离对查看BER性能的根本原因提供了非常少的信息
- ▶ 通常BER同时受到抖动和噪声的限制
 - 抖动分离只提供了有限的信息

更加精确的眼图轮廓和BER估算



80SJNB 第一个、也是唯一从整体上分析BER的示波器解决方案!

80SJNB –高级抖动, 噪声和BER分析软件 抖动和噪声分析

► 80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件

— 为TDS/CSA8000系列采样示波器提供的全面的串行数据信号损伤检定软件

- ✓ ≤ 200 fs rms的固有抖动
- ✓ 超低本底噪声 (较BERT或DSO示波器具有采样优势)
- ✓ 垂直分辨率高
- ✓ 同时支持电接口和光接口应用
- ✓ 1 Gbps - 60 Gbps

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件

抖动结果

测量	说明
TJ @ BER	总抖动@ BER
RJ	随机抖动
RJ (h)	随机抖动的水平分量
RJ (v)	随机抖动的垂直分量
RJ ($\delta - \delta$)	双Dirac模型中计算得出的随机抖动
DJ	确定性抖动
DDJ	数据相关抖动
DCD	占空比失真
DJ ($\delta - \delta$)	双Dirac模型中计算得出的确定性抖动
PJ	周期抖动
PJ (h)	周期抖动的水平分量
PJ (v)	周期抖动的垂直分量
EOH @ BER	水平眼图张开 @ 指定BER

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件

噪声结果

测量	说明
RN	随机噪声
RN (v)	随机噪声的垂直分量
RN (h)	随机噪声的水平分量
DN	确定性噪声
DDN1	逻辑电平1上的数据相关噪声
DDN0	逻辑电平0上的数据相关噪声
PN	周期噪声
PN (v)	周期噪声的垂直分量
PN (h)	周期噪声的水平分量
EOV @ BER	垂直眼图张开 @ 指定BER

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 系统简要说明

▶ 80SJNB软件在下述系统上运行：

1. 任何TDS/CSA8000 – 采样示波器主机, 配有...
2. 80A06 – PatternSync模块
和任何...
3. 80Cxx或80E0x 信号采集模块 – 用于信号采集

可选:

- 82A04 相位参考模块, 200fs本底抖动
- CR (作为80C模块或80A05电接口模块和80C12光接口模块的选项)

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 DUT的信号要求

- ▶ 重复码型* 2^{15} 或更短
- ▶ 时钟** (或使用CR模块/选项)

* 不允许有空闲位或其它随机位

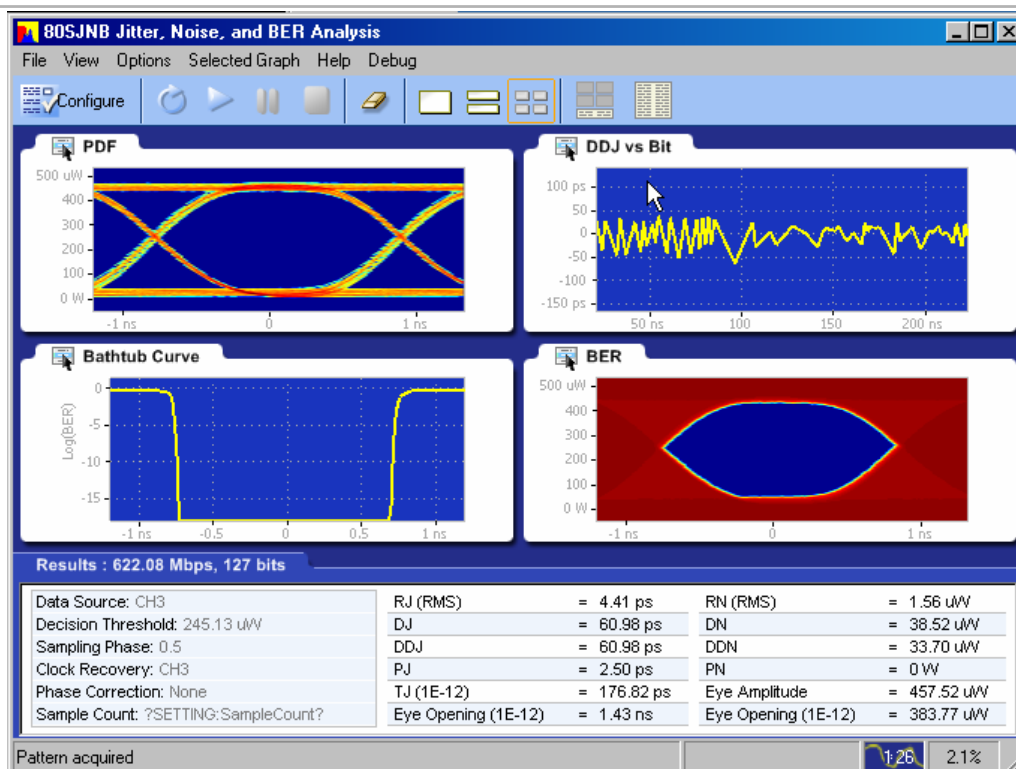
** 时钟可以是位速率的倍速率或子速率

内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

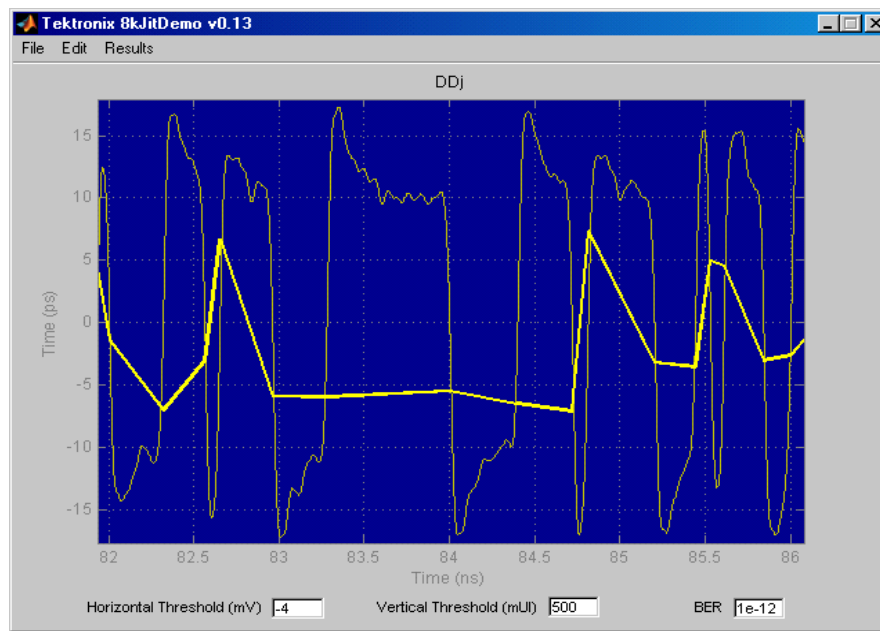
总结，问答

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 绘图和数值结果屏幕



80SJNB结果概况

数据相关抖动



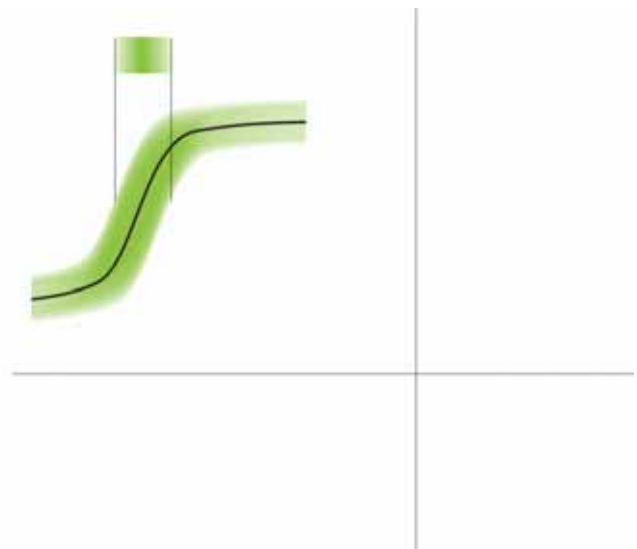
... 与真实码型比较

80SJNB结果概况

抖动与数据无关

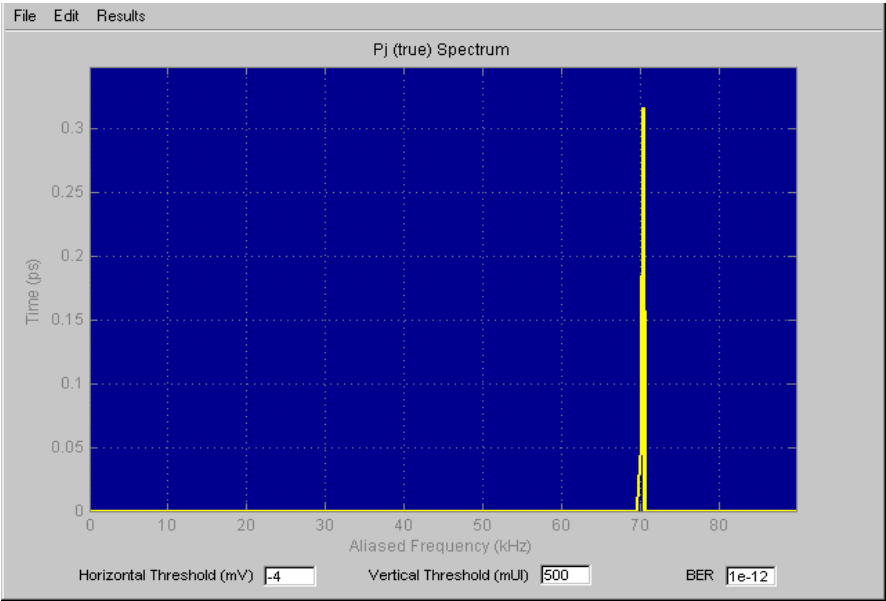
看一下重复码型中的边沿，累积采集后，您会看到抖动和噪声与波形无关

这是 P_j 和 R_j – 周期抖动和随机抖动。它们可以相互分开，然后在频域中有效表示 ... 下一张幻灯片



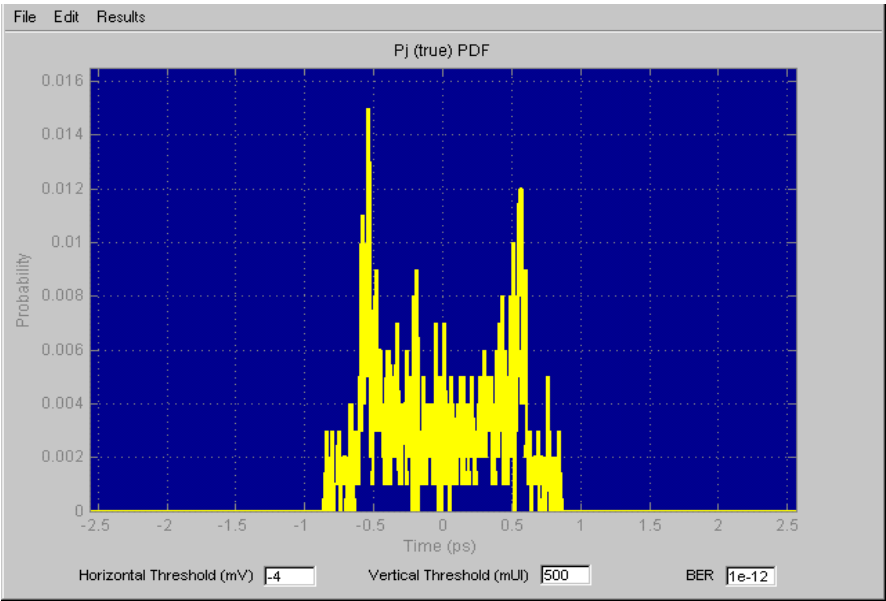
80SJNB结果概况

周期抖动频谱



80SJNB结果概况

周期抖动PDF(概率密度函数)



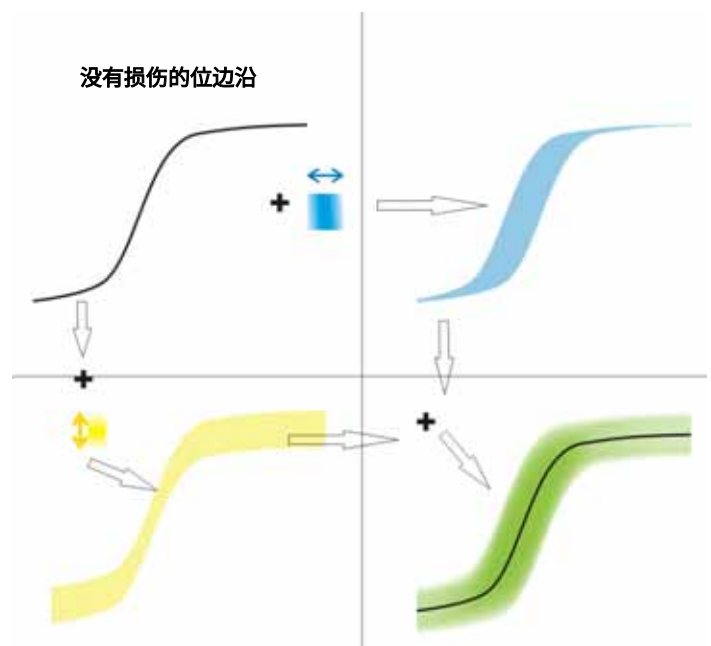
80SJNB结果概况

随机抖动: RJ(v), RJ(h) (对PJ相同)

码型中的边沿实际上有两个损伤:

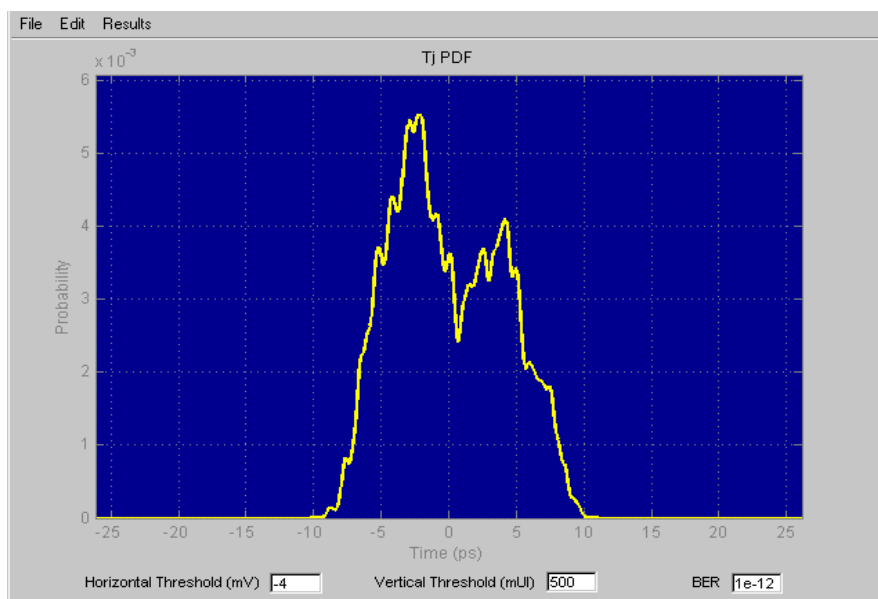
- 抖动(h)
- 噪声
(注意两者都在边沿上导致了抖动)

综合响应在(右下方),是从屏幕上看到的结果,其中包括噪声引起的抖动。

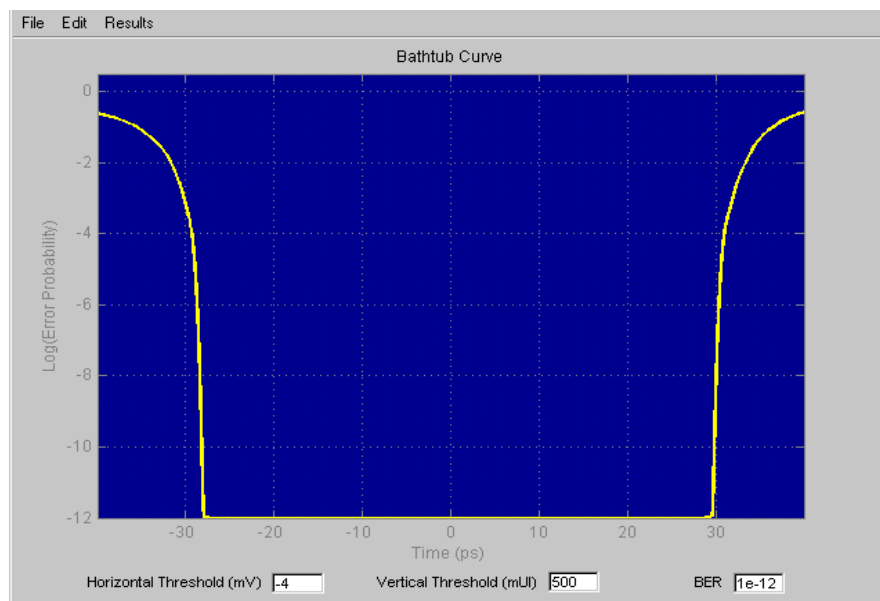


80SJNB结果概况

总抖动概率分布函数



80SJNB结果概况 计算得出的水平“浴盆”曲线



80SJNB结果概况 新的串行数据分析角度

- ▶ 单纯的抖动并不能回答许多串行数据链路问题 – 在正常情况下，链路性能同时受到噪声和抖动限制；**噪声**通常在BER中占主导地位

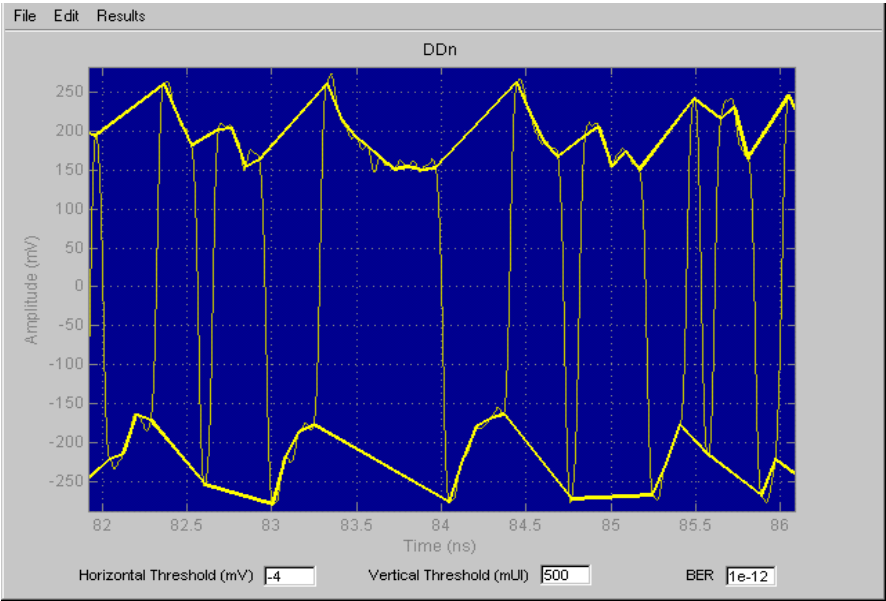
采样抖动测量PoP也执行噪声分析。

- ▶ 执行**噪声*分析**是一个重大突破，这一点类似于从纯模板测试转到在测试中增加**抖动分析**。

*噪声: 这里我们使用广义的噪声概念 – 是指所有不想要的垂直量，因此其不仅包括热噪声，还包括畸变、振荡、干扰等...

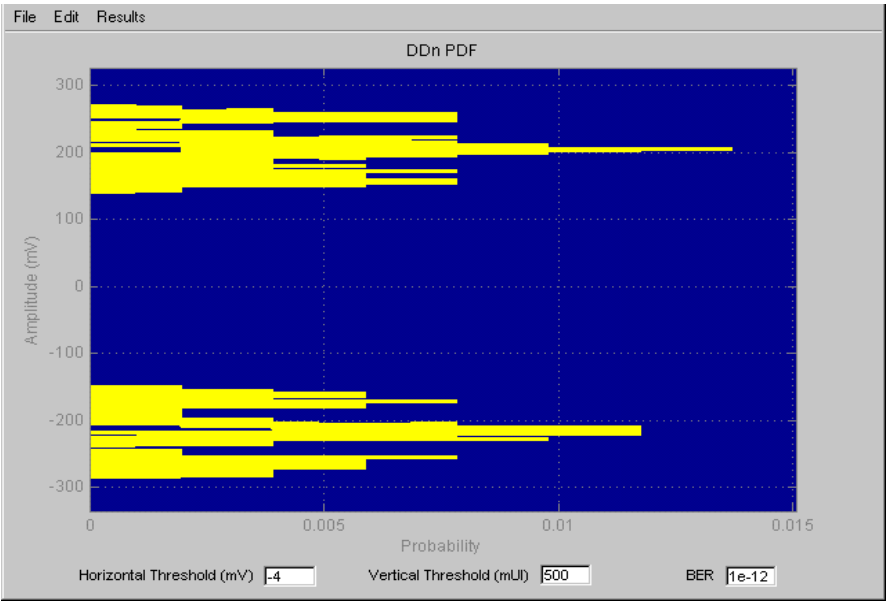
80SJNB结果概况

数据相关噪声



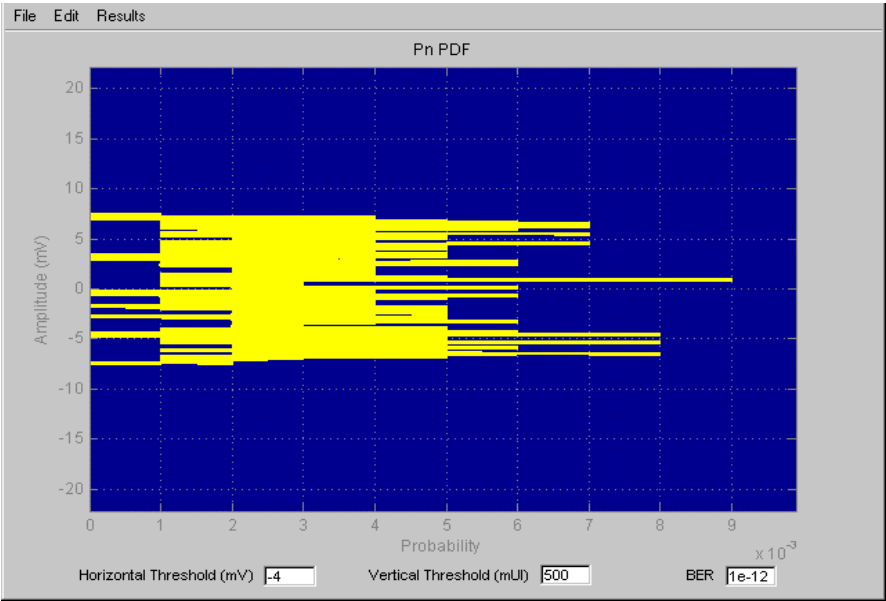
80SJNB结果概况

测得的DDn概率密度函数



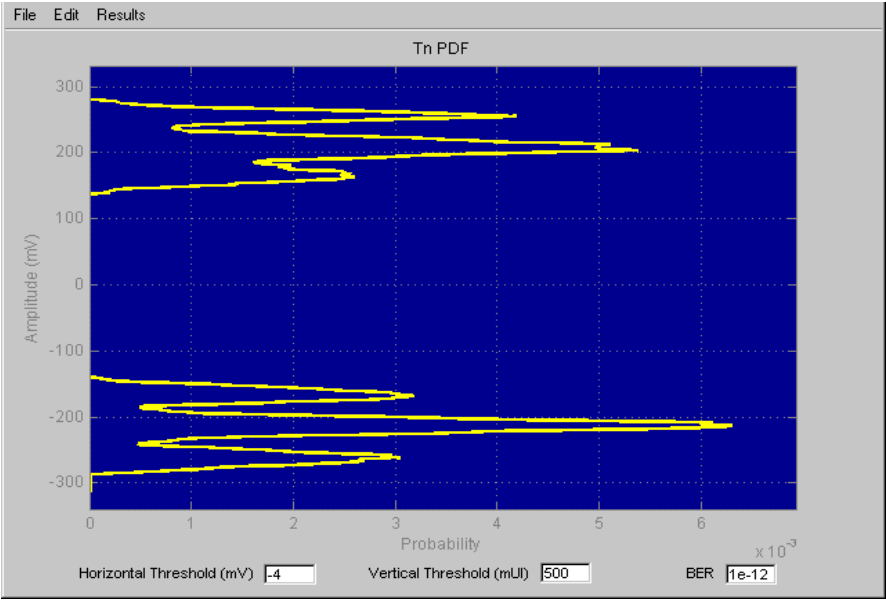
80SJNB结果概况

周期噪声 PDF(概率分布函数)

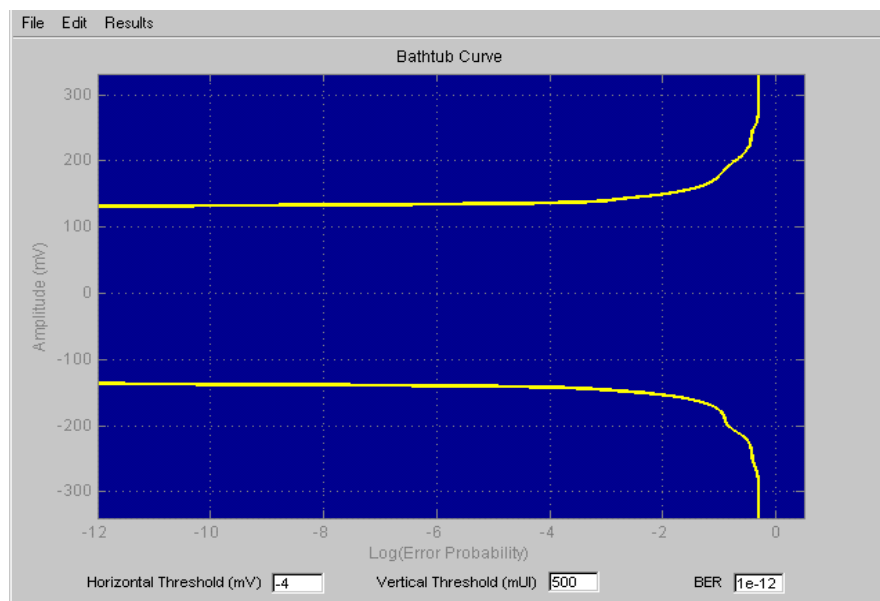


80SJNB结果概况

总噪声概率分布函数



80SJNB结果概况 计算得出的垂直“浴盆”曲线



内容提要

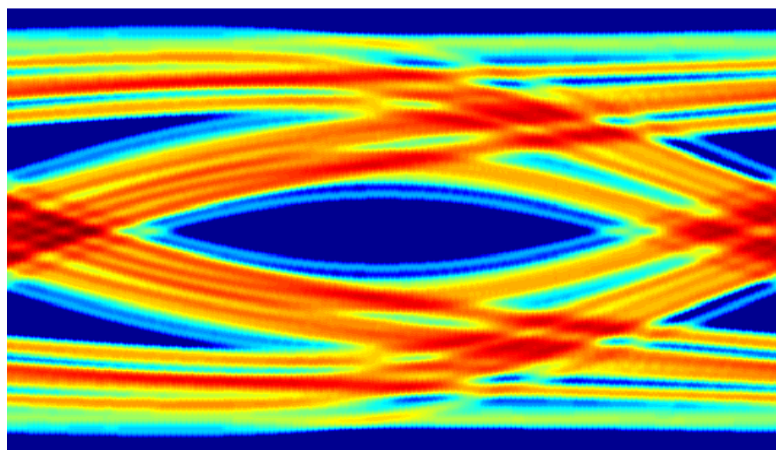
- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

总结，问答

80SJNB结果概况 串行数据分析中的重大突破:

通过不相关损伤的垂直分量信息和水平分量信息及整体相关的波形，我们可以编制一个PDF Eye矩阵。

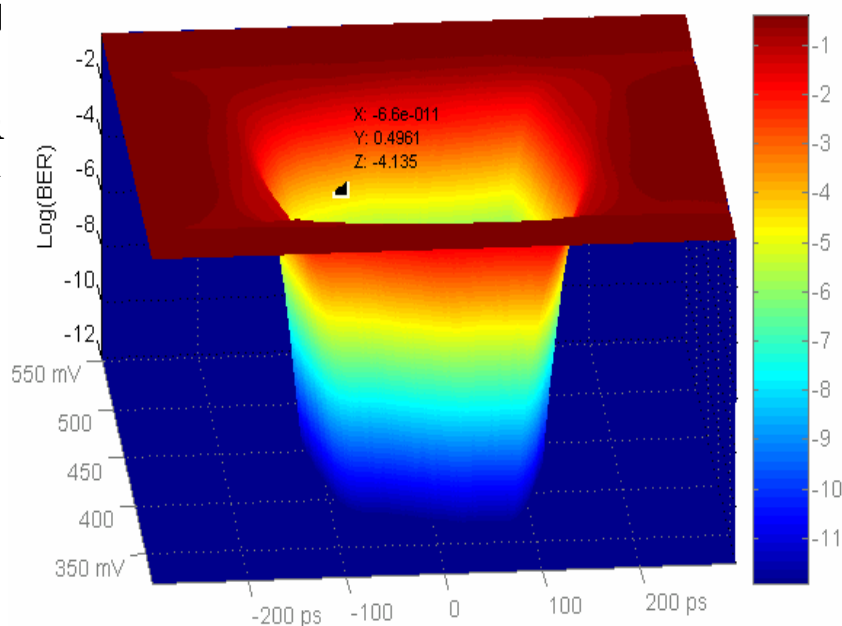
(在本图中，颜色表示像素的命中概率。许多颜色被深蓝色切掉了)



最重要的是，从PDF Eye中，我们现在可以编制 ...

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 重大突破 ...: BER眼图

- ▶ BER眼图也在两个方向上从PDF中计算得出
- ▶ 这可以考察发射机BER，而任何其它来源都不能提供这些信息



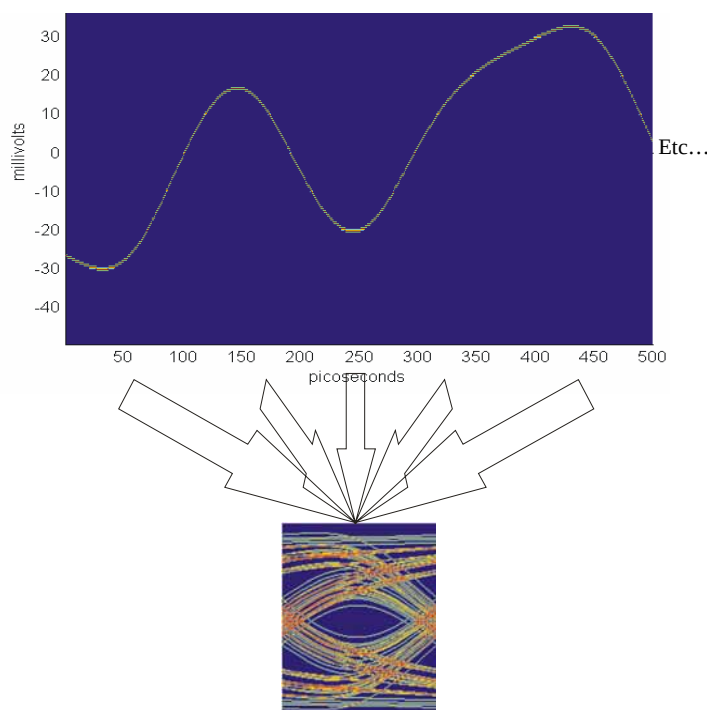
内容提要

- ▶ 抖动分类
- ▶ 不同抖动类别使用的不同测试工具
 - 工具#1: DSO
 - 工具#2: RTSA
 - 工具#3: 采样示波器
- ▶ 详细介绍：80SJNB采样示波器分析软件
 - 噪声情况
 - 结果
 - 串行分析技术突破
 - 80SJNB的工作方式

总结，问答

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 第1步 - 计算信号分量

- ▶ **第1步:**
80SJNB使用平均和DSP，分离特定数据码型；并分离相关的水平和垂直信号分量。



通过重叠UI，可以简便地构建这个“特定”数据码型的眼图

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 第2步 – 分离随机抖动和噪声分量

▶ 第2步:

通过使用零时间间隔采样和简单的数学运算, 80SJNB分离随机抖动和噪声, 水平分量和垂直分量, 这是不相关的信号分量

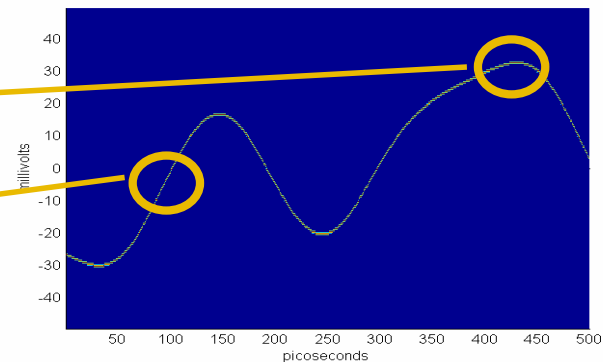
在转换速率 = 0 V/Sec时,

$$RN = \sigma_V = 2 \text{ mV RMS}$$

转换速率: $\delta = 10 \text{ GV/Sec}$ 时,

我们测得 $RJ = 1 \text{ ps}$

从 $RJ_{\text{RMS}} = \sqrt{(\sigma_H)^2 + (\sigma_V/\delta)^2}$ 中, 我们得到 $\sigma_H = 200 \text{ fs RMS}$

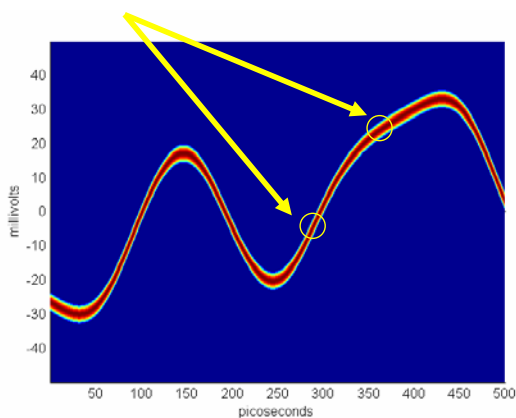


80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 第3步 – 生成二维PDF

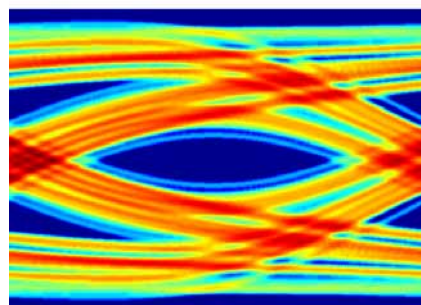
▶ 第3步:

然后80SJNB对相关的和不相关的数据求卷积, 形成完成的二维PDF。

注意可以看到RJ在边沿中变化



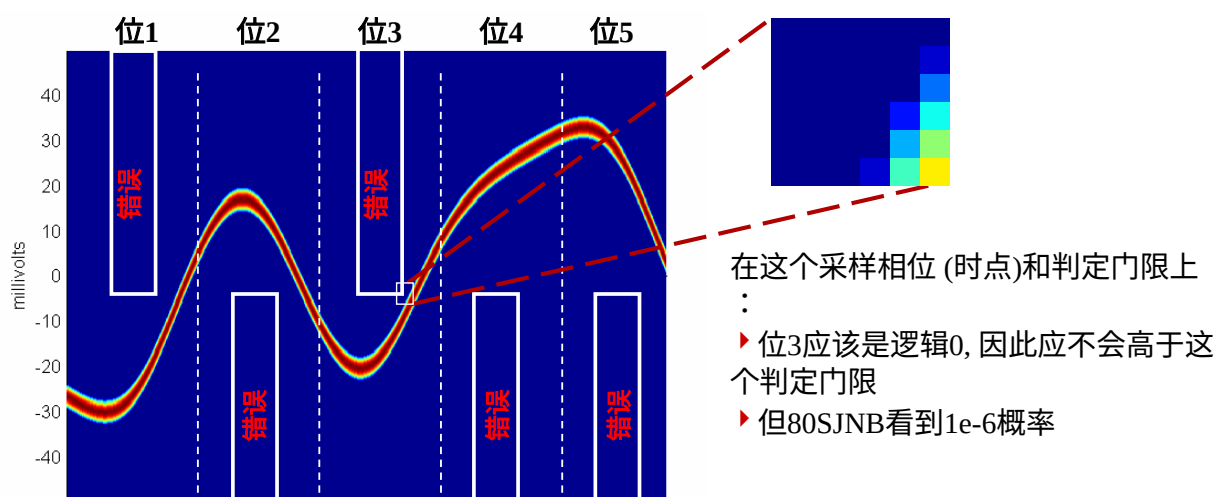
波形PDF



眼图PDF

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件

第4步 – 门限和相位比较...

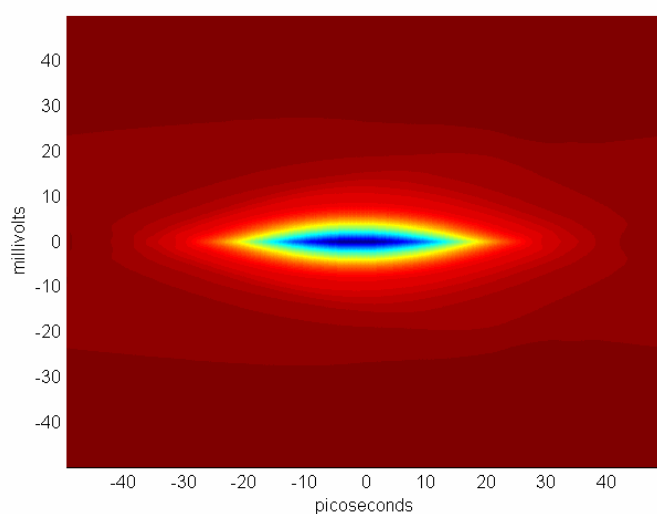


- ▶ 位3的理想值是逻辑0, 因此高亮位置 (-5 mV, 0.5 UI) 的BER是误码数 (PDF趋向 $+\infty$ 的垂直整数) 与传输的码数(1)之比。
- ▶ 同样可以计算出同一位置的位4和位5的BER, 但整数趋向 $-\infty$, 因为其理想值是逻辑1。依此类推...

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件

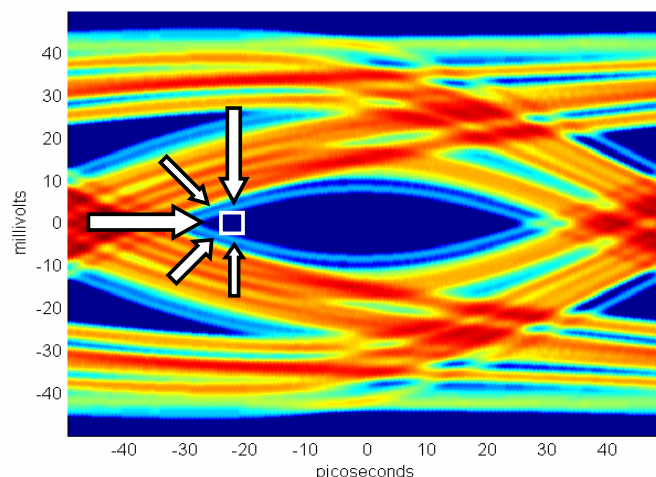
... 第5步 – 得出 BER 眼图

- ▶ 80SJNB采用垂直逻辑比较和统计, 确定BER = 误码数 / 传输的码数



- 确定最优的判定门限和采样相位

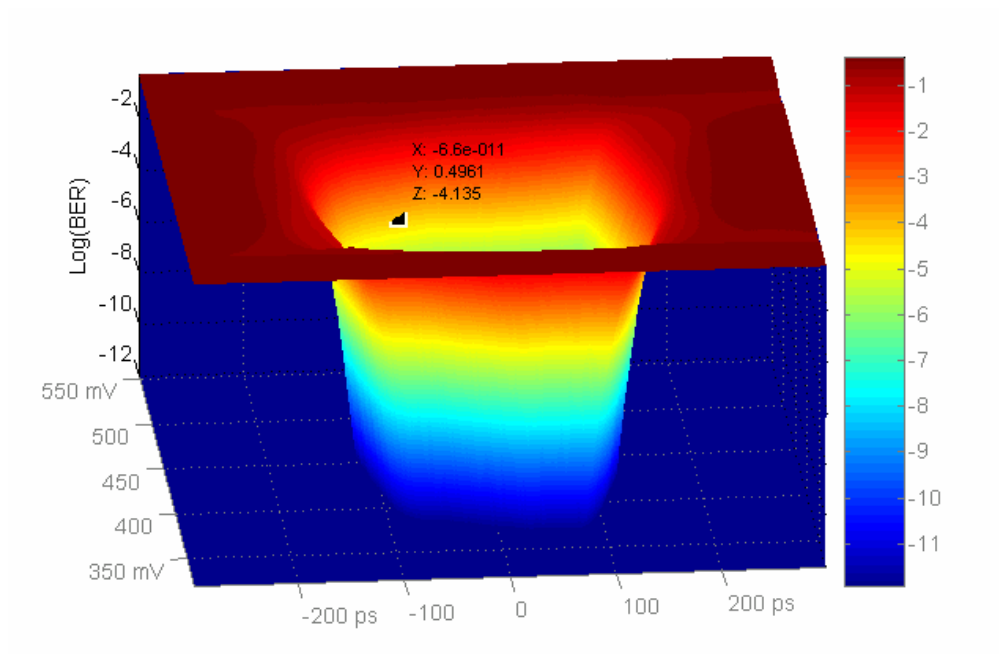
80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 低概率时的复杂廓线



- ▶ 高亮位置的BER受到来自眼图中每个位置的不同强度的水平和垂直高斯尾部的影响。
- ▶ 每个边沿都有自己的“RJ”，垂直噪声注入开始发挥作用。

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 软件的优势

1. 同时进行垂直分析和水平分析
→ 更加精确地估算BER，考察信号完整性
2. 确定图形背后的波形信息
3. 泰克200 fs_{RMS}的仪器抖动提供了完美的本底抖动
4. 不需要信号沿模型 – 全面采集码型
5. 减少PDF模型数量 - Pj PDF用真实形状表示，不需要双 Dirac近似方法。完整的PDF – 不需根据PDF“尾部”(PDF中稳定性最差的部分)进行推断
6. 完整的解决方案 → 为光接口、电接口/差分信号提供了时钟恢复功能



泰克提供的全面的串行数据信号损伤检定软件

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 总结

我们介绍了:

- ▶ 多种抖动类型和
- ▶ 多种测量工具：
 - 实时DSO
 - 实时SA
 - 采样示波器

我们介绍了CSA8000使用的**80SJNB**软件

- ▶ 单纯的抖动并不能回答许多串行数据链路问题 – 在正常情况下, 链路性能同时受到噪声和抖动限制
- ▶ 同时进行垂直分析和水平分析是一个重大突破

80SJNB高级抖动, 噪声和BER分析软件 总结

谢谢!

链接和资料:

www.tek.com/jitter