



泰克高速系统测试总体实现方案

李志斌

应用工程师

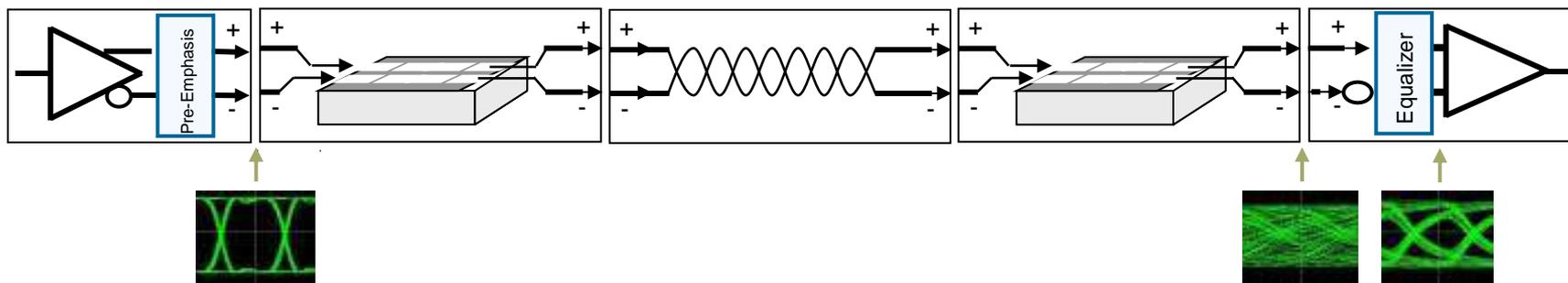
Nello.Li@tektronix.com



市场动态

- 第二代和第三代高速数传总线正在研发
- 更快的速度更低的信号电平
- 理解链路对信号高频衰减是至关重要的

Standard	Data Rate
Rapid IO	6.125 Gb/s
PCI Express 2.0	5 Gb/s
PCI Express 3.0	8 Gb/s
DisplayPort	5.4 Gb/s
HDMI 1.3	3.4 Gb/s
10G Serdes	10.3125 Gb/s
FibreChannel	4.25-8.5 Gb/s
10GE Ethernet	10.3125 Gb/s



如何尽量得到一个健康的电路系统？

我们
可以
做
什
么
改
进
？

阻抗验证，良好布线

DSA8300配合高带宽TDR模块，准确测试PCB走线和过孔阻抗，保证互连系统良好的阻抗匹配

排查干扰，时域/频域

利用DPO示波器和RSA频谱仪的DPX实时功能进行EMI和互连兼容排查进行Debug

发送端预加重

利用DPP/LE320等预加重模块帮助进行预加重参数模拟，选择合适芯片设定

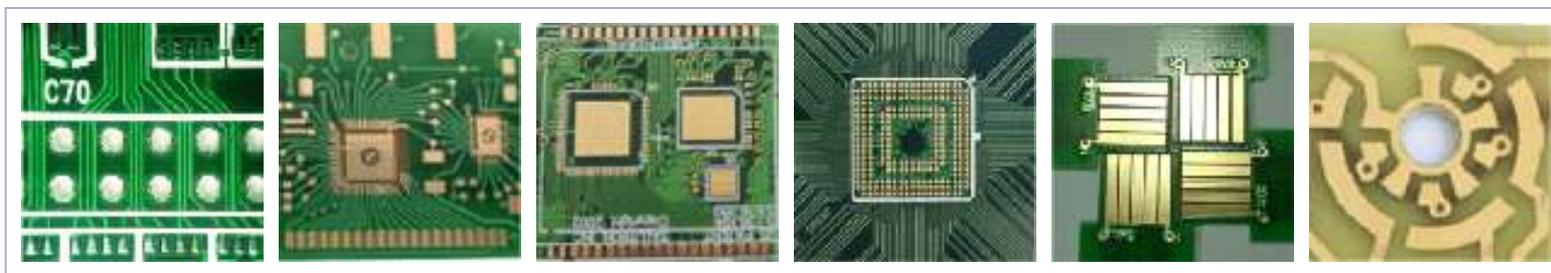
接收端均衡

利用LE和高带宽示波器和配套的SDLA均衡软件帮助进行均衡参数模拟

误码率验证

利用Bertscope超强的误码率测试能力，发现并定位系统潜在问题

第一部分：高速互连的测试和验证



高速信号互连组件

■ 信号互连有多种途径：

➤ Chip to Chip, PCB电路板上

- 短线, 良好控制阻抗和损耗, 如USB3.0 / PCIE
- 封装通常会限制速率

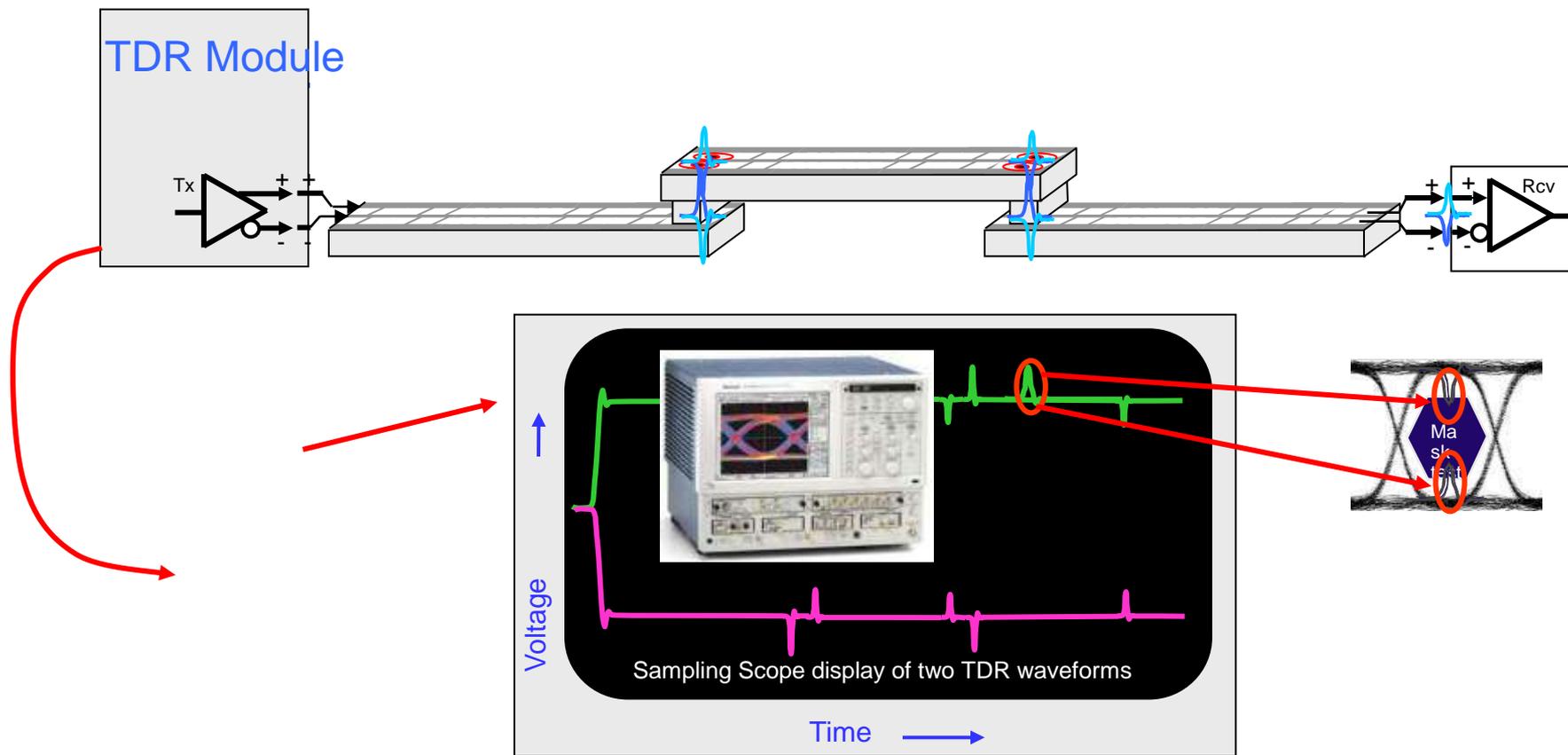
➤ Cable连接, 两块PCB板上的芯片

- Lossy cable, 不过同轴的cable通常会干净很多
- Cable连接用的连接器通常会带来不好的影响, 需要良好控制

➤ 高速背板板间互连

- 母卡和子卡 (夹层类型)
- 高速背板连接, 如XAUI / 10G-KR / CEI 等

信号完整性SI: TDR阻抗验证



Transition points involve combinations of solder joints, circuit board vias, and connectors: these all can have substantial effect on the total link performance.

TDR also is capable of producing S-parameters

业内最佳TDR阻抗分析仪表

- DSA8300采样示波器
- 80E10/E04 高带宽TDR模块
- 全新静电防护模块： 80A09
- P80318差分点测探头
- 高带宽SMA探头或者探针台

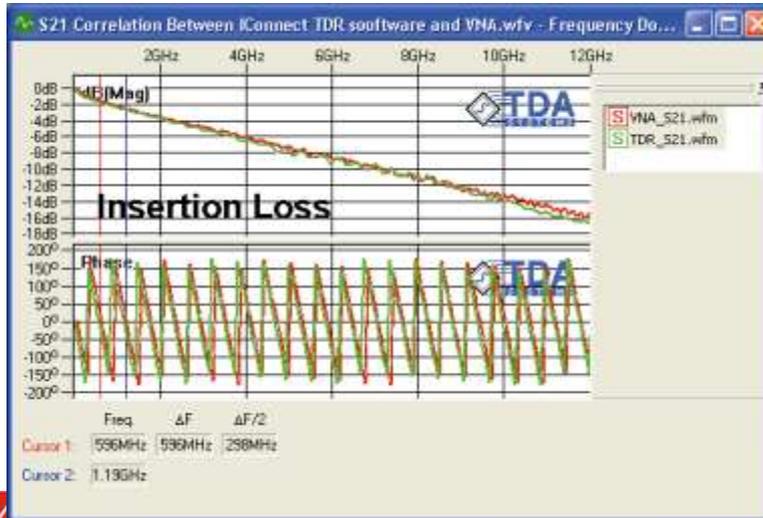


Frequency Dependent S-parameters

除了阻抗之外，S参数测试实例

最容易的方法实现数字互联的S参数测试

- 真实的差分、混合模式、单端
- 一致性测试需求：PCI-Xpress, SATA, HDMI, Gigabit Ethernet and other standards
- 非常容易反嵌夹具带来的测试影响
- 只需执行简单的校准（一个开路或短路的TDR波形）
- 现有的TDR设备非常容易就可升级至IConnect



Compute: S-Parameter

TD Source Waveform Viewer: TD Waveform Viewer 1

FD Target Waveform Viewer: New Waveform Viewer

Waveforms

DUT: Odd.wfm

Ref: Step.wfm

Frequency content

Set manually

Max Δf: 5M Hz

F_{max}: 10G Hz

Compute

Calibration

Use 50 Ohms calibration

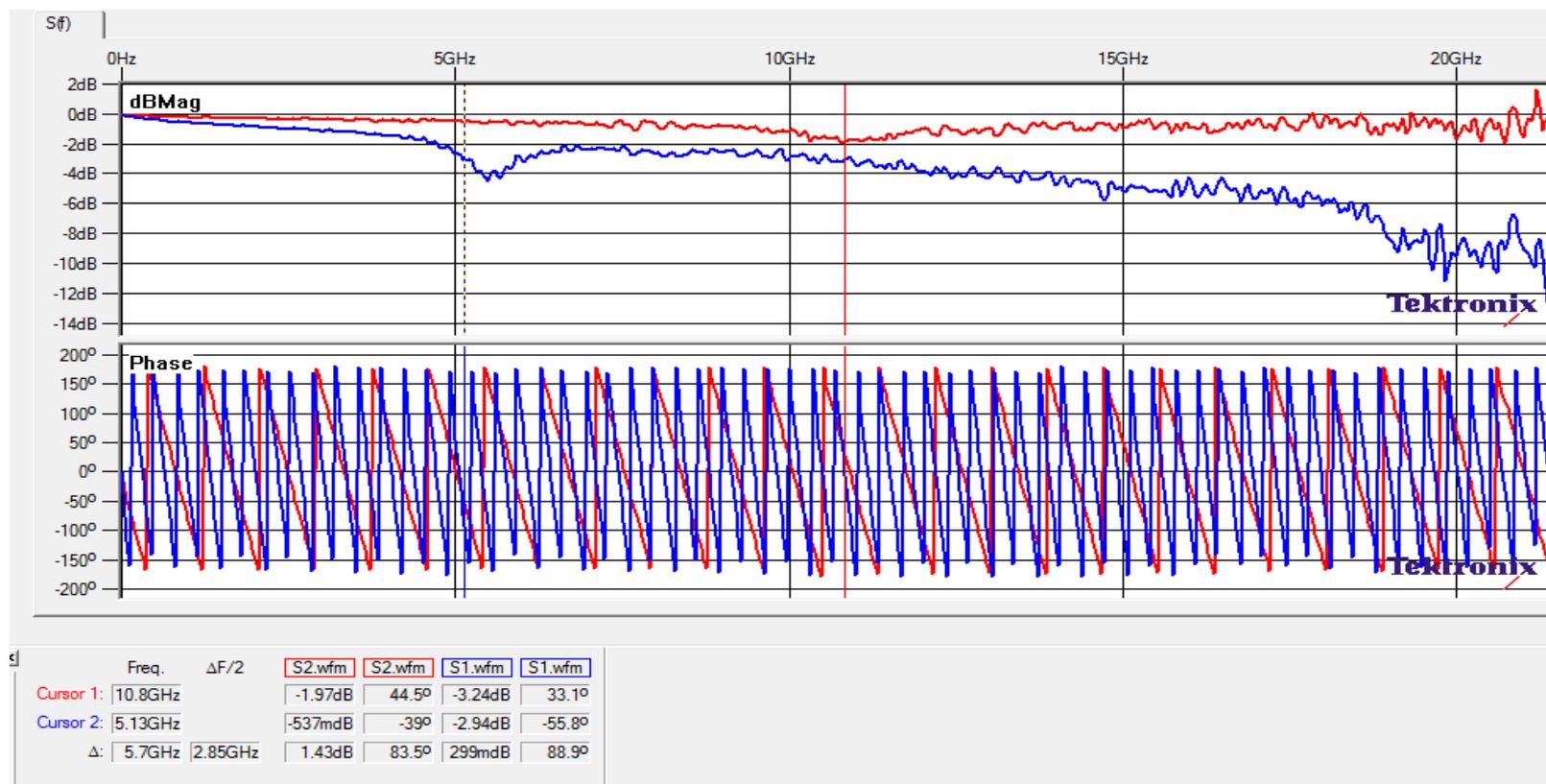
Ref type: Open/Short

DUT Type: Insertion loss/Δ

Load 50 Ohms Waveform: Load.wfm

除了阻抗之外，S参数测试实例

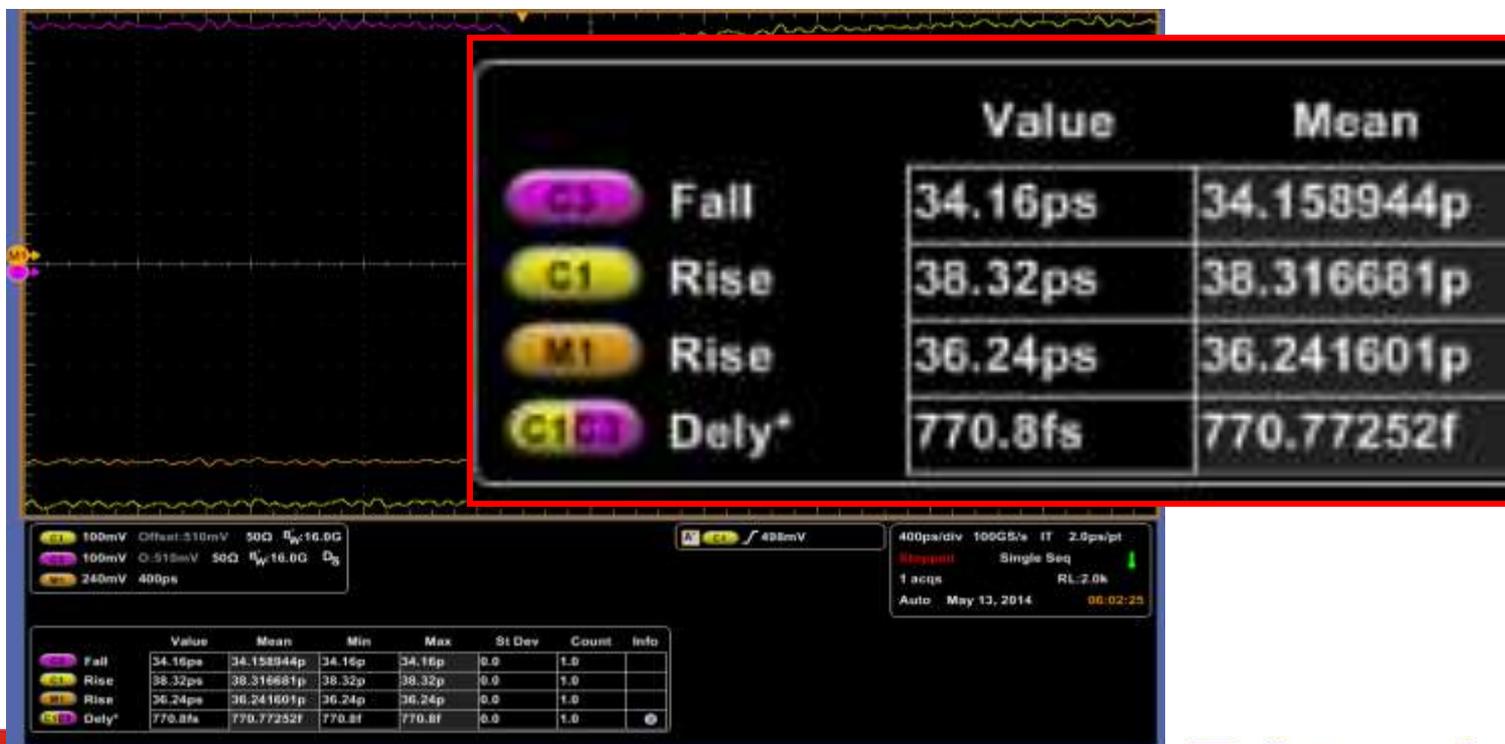
下图，共两根SMA线缆，带宽不同，红线带宽超过20G，而蓝线带宽只有5G左右，通过泰克Iconnect软件可以与验证和测试线缆的插入损耗等参数



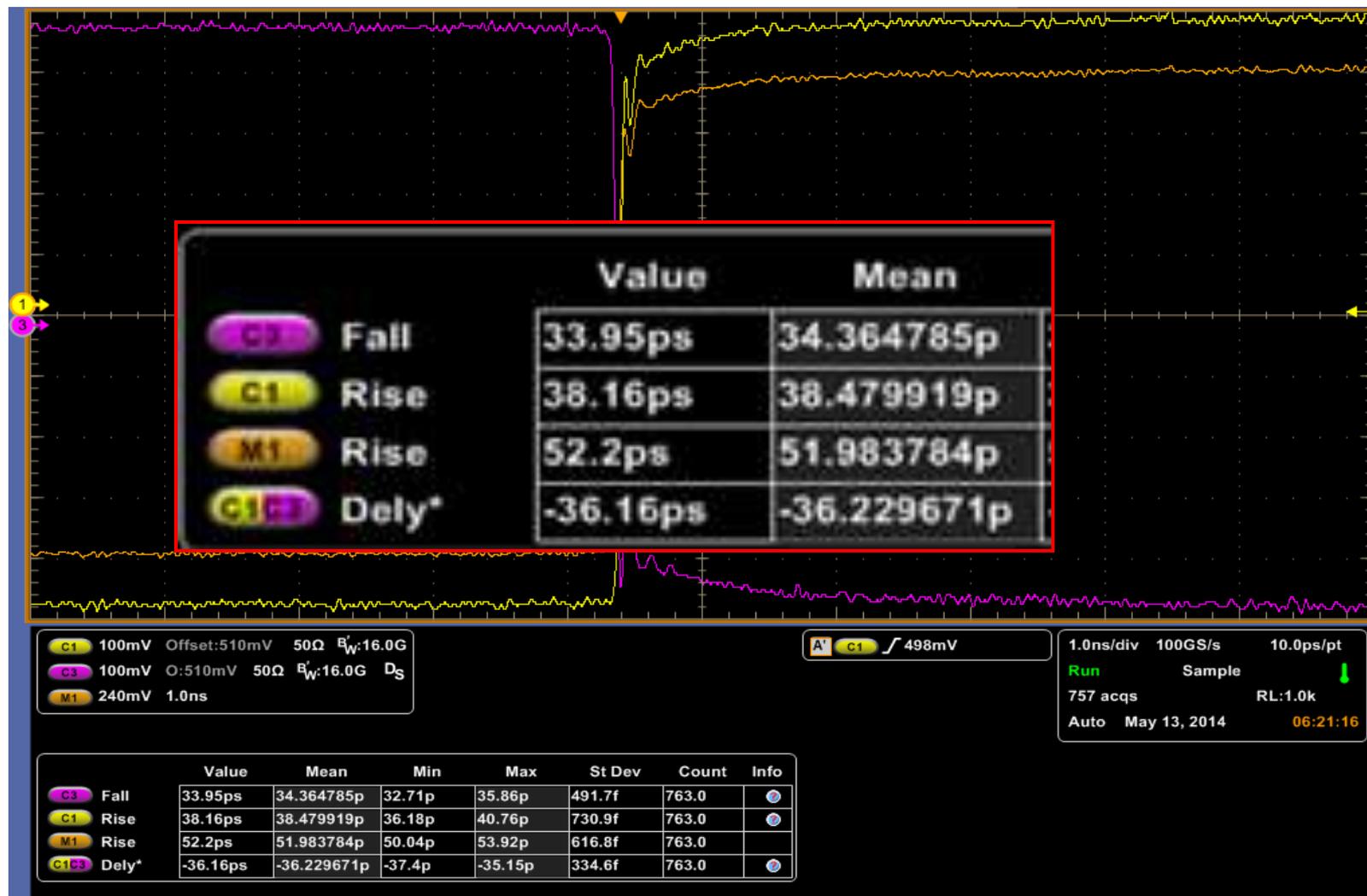
除了阻抗损耗，对于差分线我们还要考虑？

■ 差分对内时延： Intra pair skew

- 差分驱动器跳变时的错位会引起差分信号在末端失真，而同样当差分对的两条线长度时延差距过大时一样会导致错位失真，这样使得差分信号对称性变差，从而影响信号末端的接受特性，比如上升沿变缓（极端时候有类似阻抗失配的台阶）、共模电压突增（在信号跳变沿有尖峰）



除了阻抗损耗，对于差分线我们还要考虑？



除了阻抗损耗，对于差分线我们还要考虑？

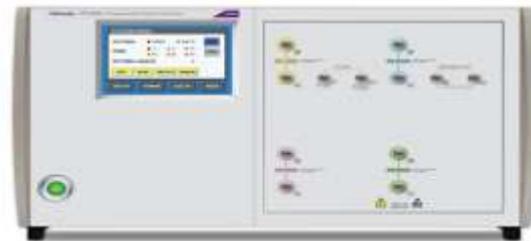
- 一般经验要求是将延迟控制在信号上升时间的20%以内，这样等效要求正负端长度差异在上升沿对应的传输距离的20%以内，比如HDMI就要求intra pair skew在0.15 Tbit内
- 假定信号在线内传播速度为6in/ns，信号上升时间为500ps，那么就要求差分线内偏差 $\leq 0.2 \times 6\text{in/ns} \times 0.5\text{ns} \approx 0.6\text{ in}$ ，这样相对要求不高，即使达不到对于较低速的信号来说影响不大
- 但如果以现在常见的上升沿在100ps内的信号来看，就要求偏差小于100mil，更快的上升沿要求的更为苛刻，测试和实现起来也就要求更高，

- $\Delta L = 0.2 \times T_r \times v$

- ❖ T_r 为信号的上升时间， v 为信号在线路中的传输速度

如果是更高频或者有源线缆呢？

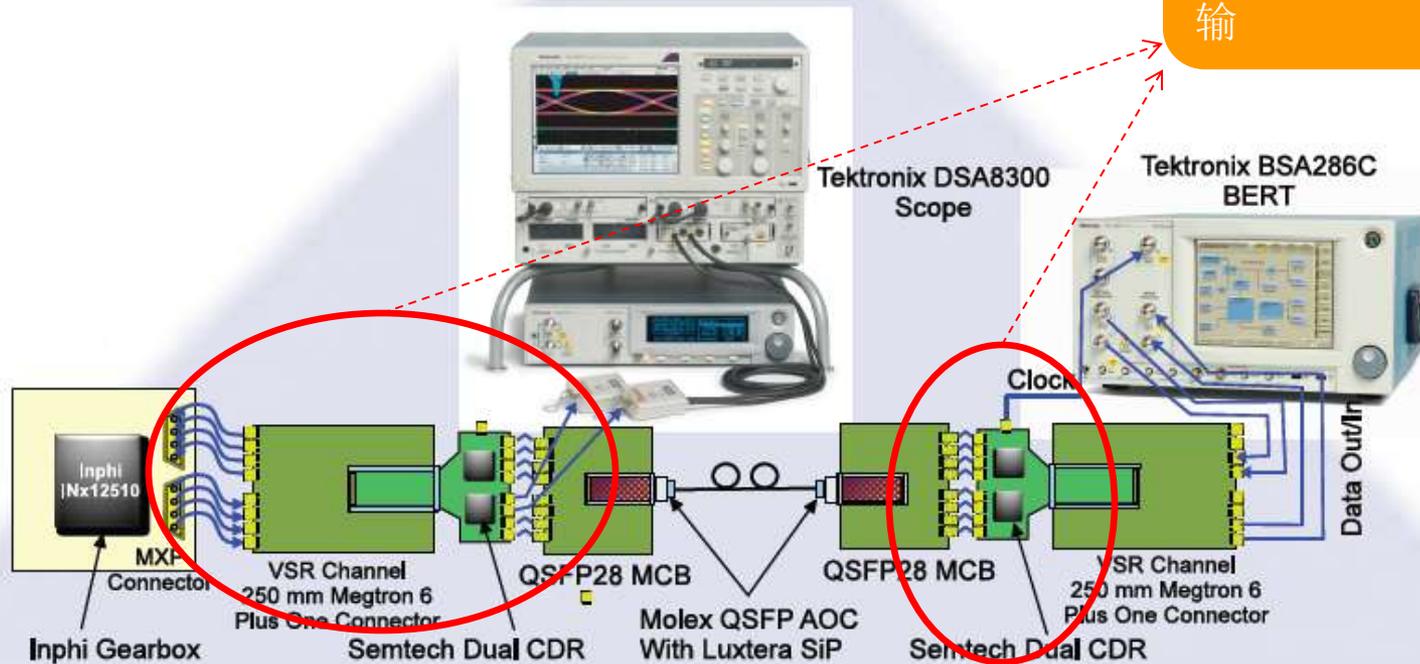
- 对超高频线缆/背板、有源线缆的验证，通常用误码仪或者码型发生器加示波器的方式去模拟真实链路应用场景
- 传统的TDR阻抗测试只能保证阻抗均匀，误码率、眼图等测试则是模拟实际情况来验证其传输高频信号的能力
- 高阶调制如PAM4等的应用，除了验证阻抗外，还建议最好用实际信号来量测



OIF CEI-28G-VSR 拓扑结构和系统测试示意图



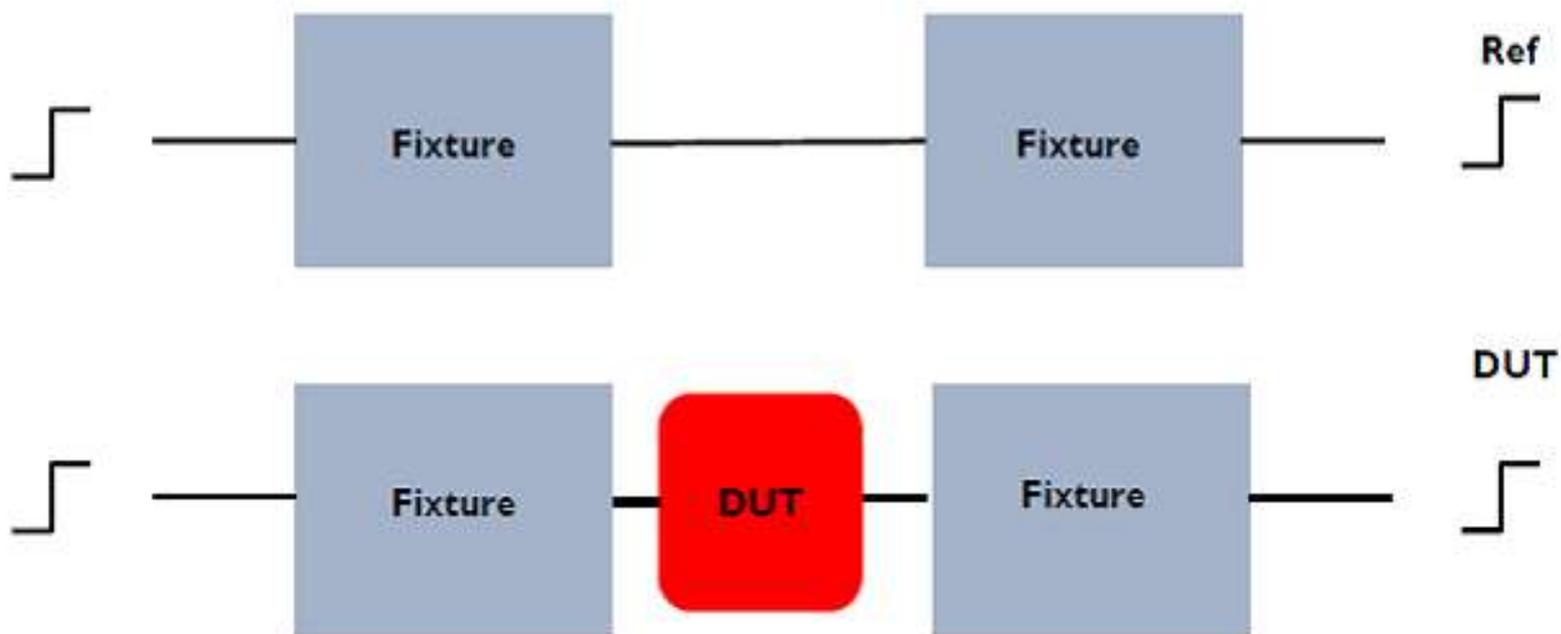
单路25Gbps以上, NRZ或者高阶调制信号传输



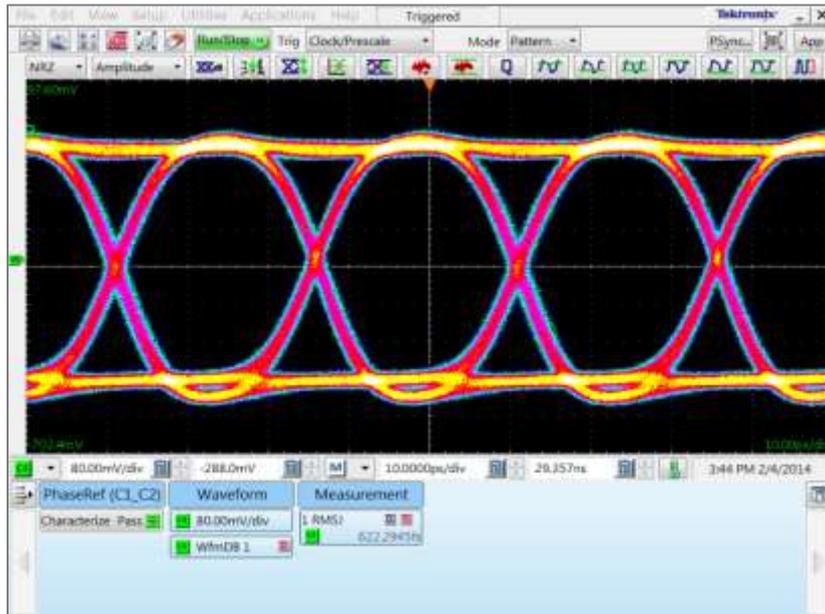
An overview of OIF's typical 28G CFP2 Host, Channel and CFP2 Module Endpoint. The OIF 28G-VSR spec is the fundamental building block for 100GE, OTN, 32GFC and IB EDR.

连接器、线缆测试

- 1、首先取REF，直连夹具（信号源和示波器），取标准眼图
- 2、加入待测连接器或者线缆，来验证其传输性能



泰克PPG3000/4000系列高速码型发生器



PPG4001 40Gb/s

接收端仪器:

DSA8300

80E11 sampling plug-in

82A04-60G phase reference

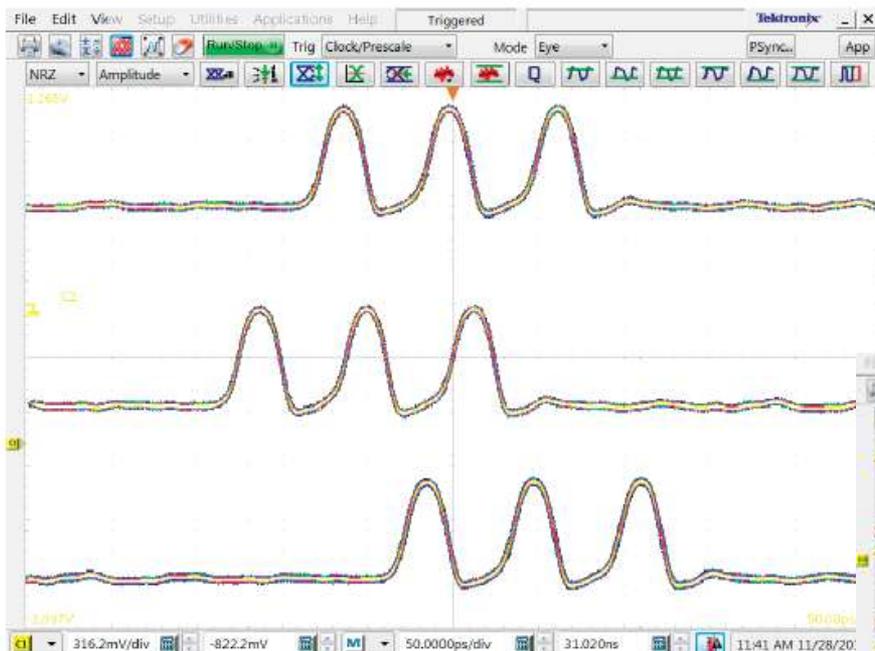


Data Source: CH3	Data Rate: 40 Gbps	Filter: False
SSC: Off	Pattern: 2047 bits	Channel: False
Phase Reference: 20 GHz	Sample Count: 304.70 k	Equalizer: None
Jitter (Decision Threshold: 306.80 mV)		
Random Jitter		
RJ (RMS)	= 213.54 fs	
RJ(h) (RMS)	= 210.77 fs	
RJ(v) (RMS)	= 34.25 fs	
Deterministic Jitter		
DJ	= 4.01 ps	
DDJ	= 3.18 ps	
DCD	= 548.10 fs	
DDPWS	= 2.18 ps	
BUJ(d-d)	= 50.00 fs	
PJ	= 106.14 fs	
PJ(h)	= 94.12 fs	
PJ(v)	= 49.06 fs	
NPJ(d-d)	= 50.00 fs	
Total Jitter @ BER		
TJ (1E-12)	= 6.50 ps	
Eye Opening (1E-12)	= 18.50 ps	
Dual Dirac		
RJ(d-d)	= 251.65 fs	
DJ(d-d)	= 2.95 ps	
Noise (Sampling Phase: 0 UI)		
Random Noise		
RN (RMS)	= 1.82 mV	
RN(v) (RMS)	= 1.80 mV	
RN(h) (RMS)	= 308.52 uV	
Deterministic Noise		
DN	= 109.34 mV	
DDN	= 106.85 mV	
DDN(level 1)	= 90.15 mV	
DDN(level 0)	= 122.45 mV	
BUN(d-d)	= 5.28 mV	
PN	= 2.58 mV	
PN(v)	= 2.57 mV	
PN(h)	= 137.76 uV	
NPN(d-d)	= 4.97 mV	
Total Noise @ BER		
TN (1E-12)	= 133.66 mV	
Eye Opening (1E-12)	= 422.81 mV	
Eye Amplitude	= 556.46 mV	
SSC Modulation		
Magnitude	= 0 ppm	
Frequency	= 0 Hz	

PPG3000/4000: 高速码型发生器 可用作光调制器激励源和接收端测试

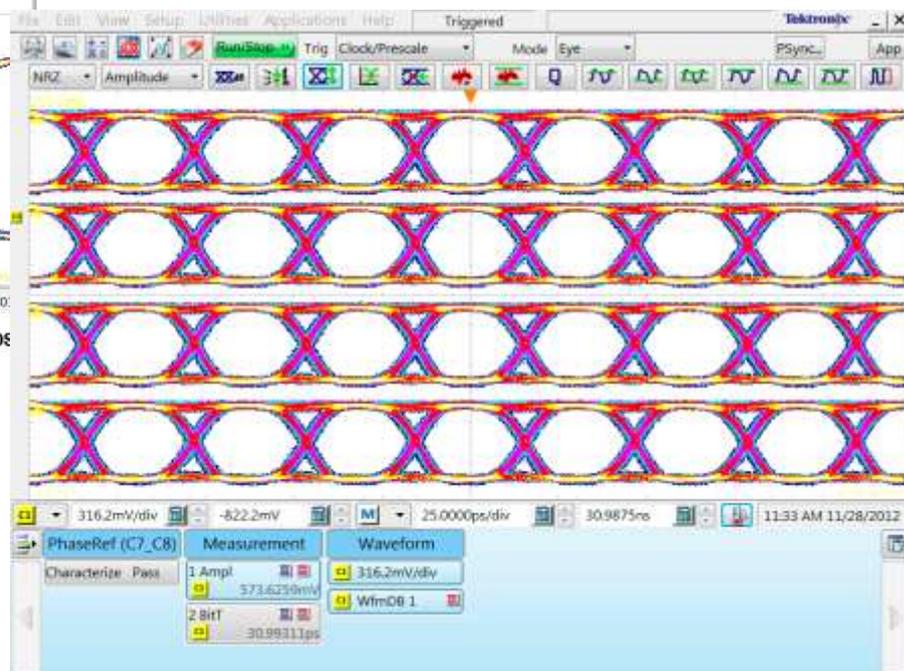
	PPG3000	PPG3200
型号	PPG3001 / 3002 / 3004	PPG3201 / 3202 /3204
通道数	1,2,4通道三种	1,2,4通道三种
数据率	30Mbps ~ 30Gbps	30Mbps ~ 32Gbps
数据率步进	10kb/s	10kb/s
内置码型	PRBS7 ~ PRBS31	PRBS7 ~ PRBS31
自定义码型长度	4M 一通道设备 2M 多通道设备	4M 一通道设备 2M 多通道设备
单端输出幅度	250mv ~ 2.0V	300mv ~ 1.0V
差分输出幅度	500mv ~ 4.0V	600mv ~ 2.0V
通道时延	100ps (± 50 ps)	100ps (± 50 ps)
时延分辨率	100fs	100fs
抖动注入	可以, 选件	可以, 选件

传统NRZ强度调制，单路或者多路

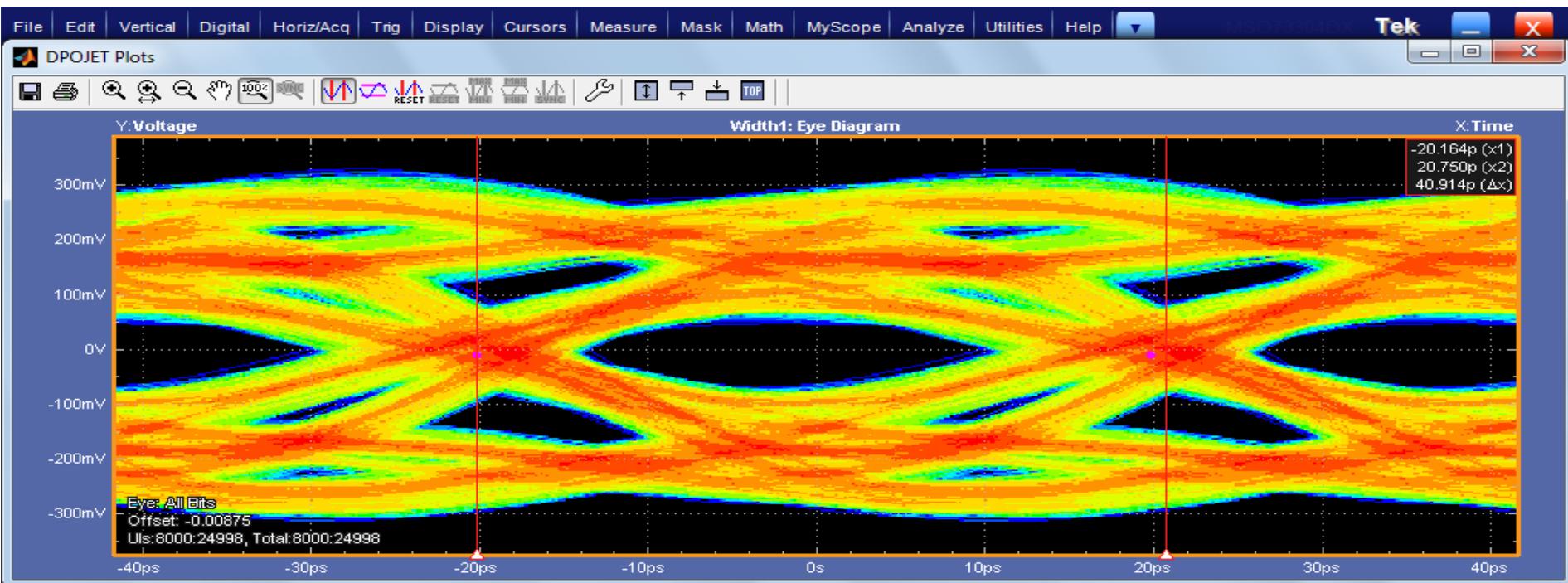


32 Gb/s custom user data demonstrating programmed data skew values of 0 ps, -50 ps and +50 ps

PPG3204, 四通道32Gbps



Ops Skew 发射通路和受影响通路



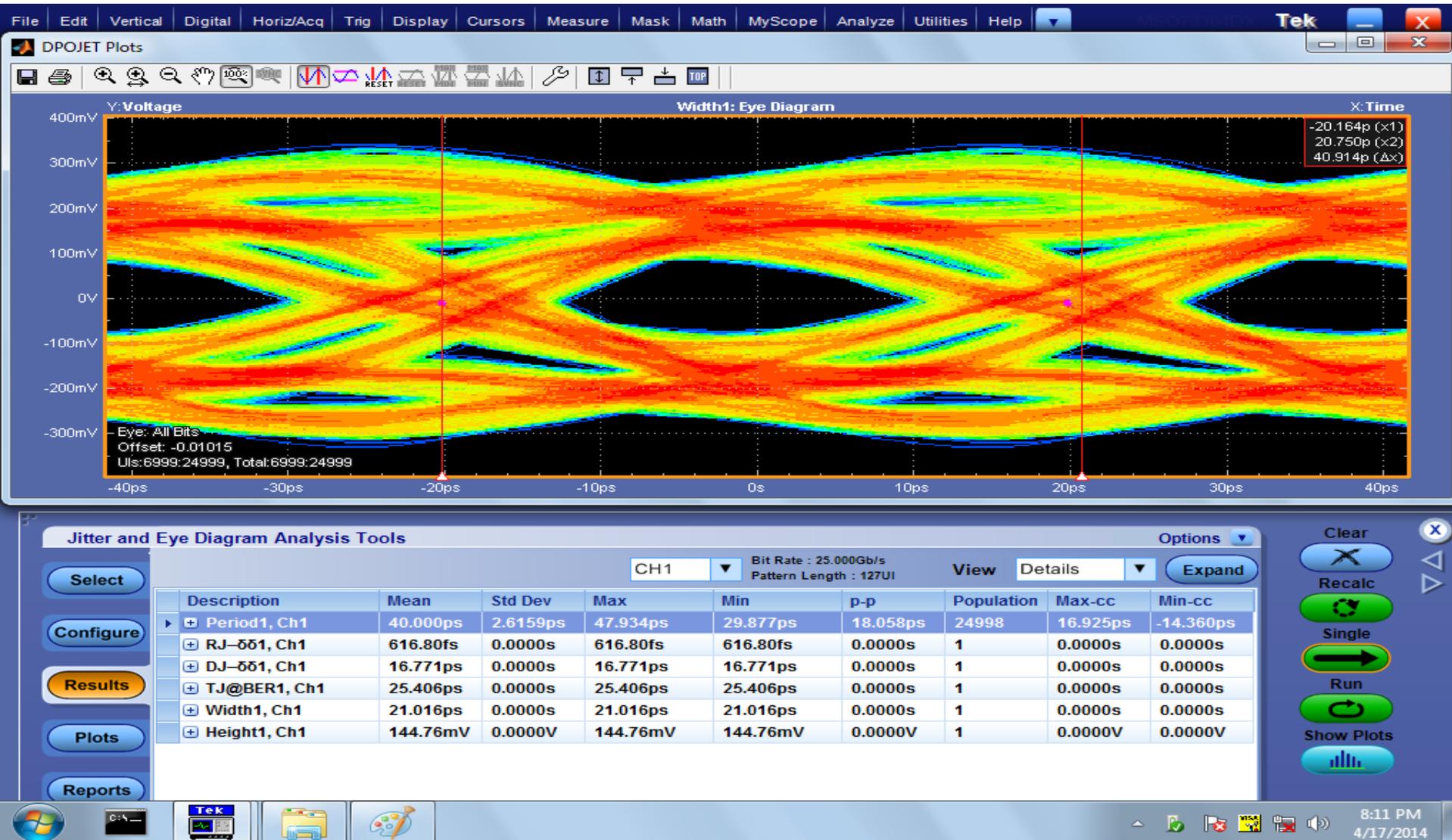
Jitter and Eye Diagram Analysis Tools

CH1 Bit Rate : 25.000Gb/s Pattern Length : 127UI

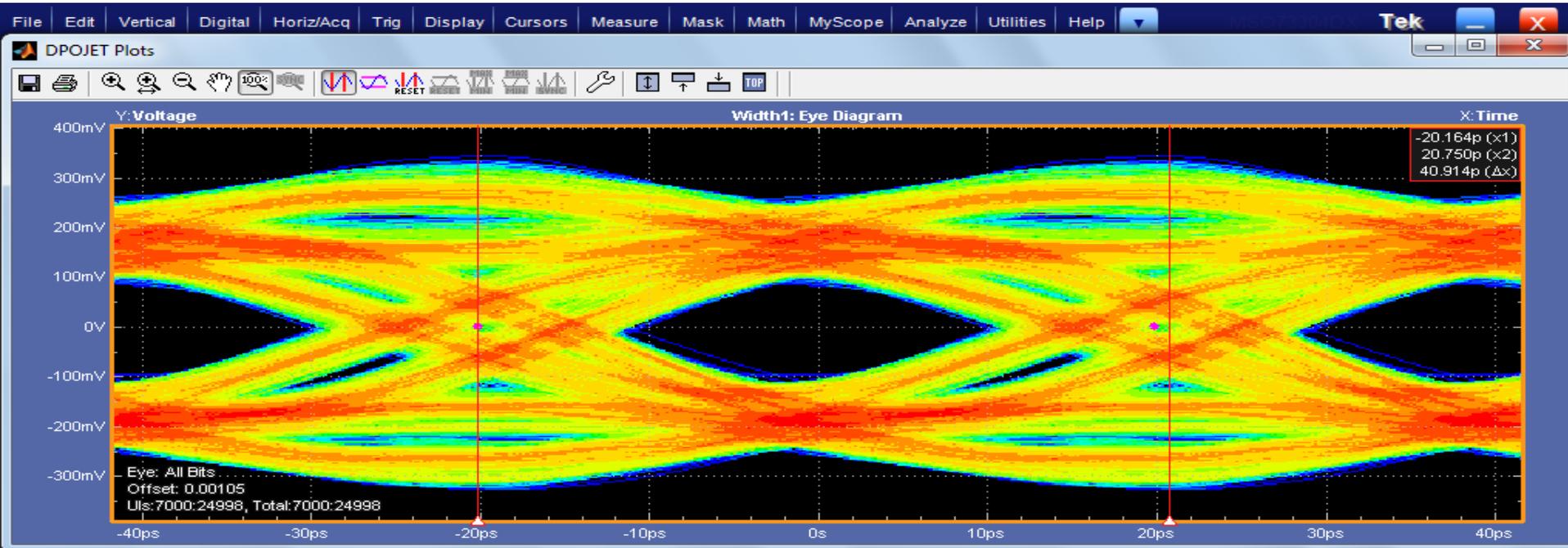
View Details Expand

Description	Mean	Std Dev	Max	Min	p-p	Population	Max-cc	Min-cc
Period1, Ch1	40.000ps	2.5240ps	48.927ps	27.761ps	21.166ps	24997	17.664ps	-19.895ps
RJ-551, Ch1	663.24fs	0.0000s	663.24fs	663.24fs	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
DJ-551, Ch1	16.064ps	0.0000s	16.064ps	16.064ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
TJ@BER1, Ch1	25.349ps	0.0000s	25.349ps	25.349ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Width1, Ch1	21.331ps	0.0000s	21.331ps	21.331ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Height1, Ch1	111.81mV	0.0000V	111.81mV	111.81mV	0.0000V	1	0.0000V	0.0000V

5ps Skew 发射通路和受影响通路



10ps Skew 发射通路和受影响通路



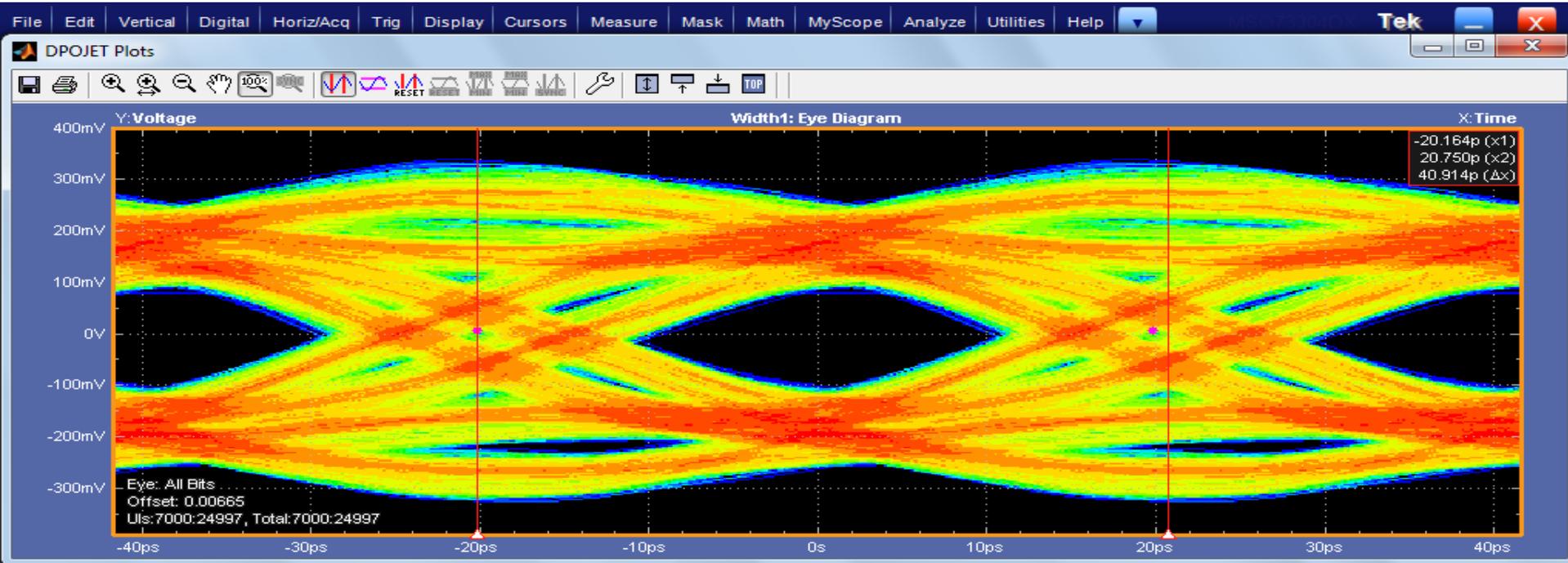
Jitter and Eye Diagram Analysis Tools

CH1 Bit Rate : 25.000Gb/s Pattern Length : 127UI

View: Details

Description	Mean	Std Dev	Max	Min	p-p	Population	Max-cc	Min-cc
Period1, Ch1	40.000ps	2.9269ps	48.652ps	32.749ps	15.903ps	24997	12.865ps	-14.239ps
RJ-551, Ch1	570.43fs	0.0000s	570.43fs	570.43fs	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
DJ-551, Ch1	17.919ps	0.0000s	17.919ps	17.919ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
TJ@BER1, Ch1	25.905ps	0.0000s	25.905ps	25.905ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Width1, Ch1	20.226ps	0.0000s	20.226ps	20.226ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Height1, Ch1	179.03mV	0.0000V	179.03mV	179.03mV	0.0000V	1	0.0000V	0.0000V

15ps Skew 发射通路和受影响通路

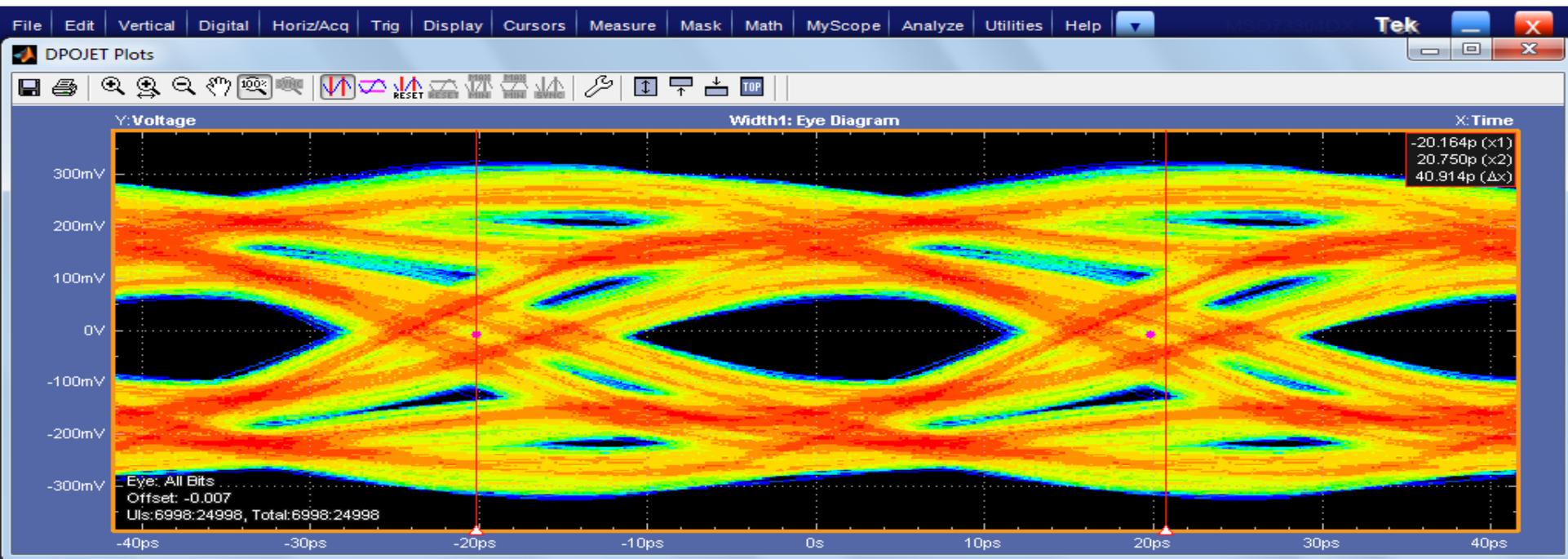


Jitter and Eye Diagram Analysis Tools

CH1 Bit Rate: 25.000Gb/s Pattern Length: 127UI View: Details Expand

Description	Mean	Std Dev	Max	Min	p-p	Population	Max-cc	Min-cc
Period1, Ch1	40.000ps	3.2203ps	49.419ps	30.774ps	18.646ps	24996	15.048ps	-17.348ps
RJ-561, Ch1	579.21fs	0.0000s	579.21fs	579.21fs	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
DJ-561, Ch1	20.152ps	0.0000s	20.152ps	20.152ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
TJ@BER1, Ch1	28.261ps	0.0000s	28.261ps	28.261ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Width1, Ch1	18.362ps	0.0000s	18.362ps	18.362ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Height1, Ch1	176.54mV	0.0000V	176.54mV	176.54mV	0.0000V	1	0.0000V	0.0000V

20ps Skew 发射通路和受影响通路



Jitter and Eye Diagram Analysis Tools

CH1 Bit Rate : 25.000Gb/s Pattern Length : 127UI View Details Expand

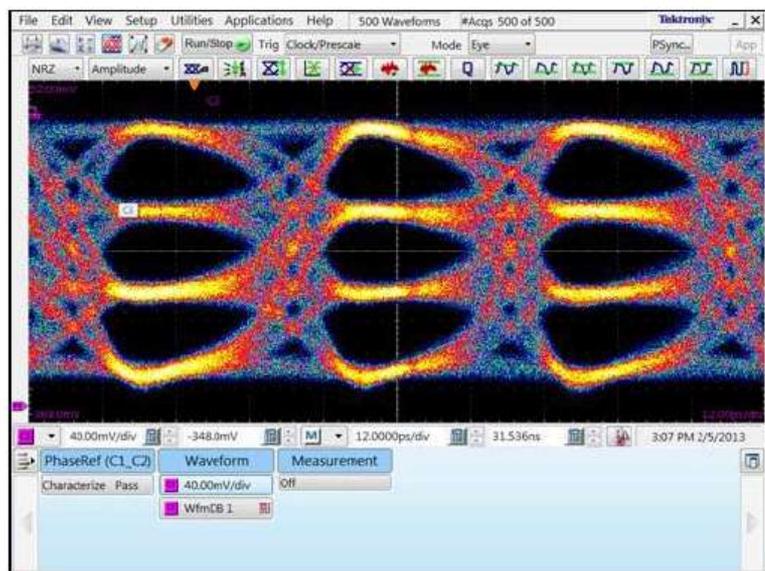
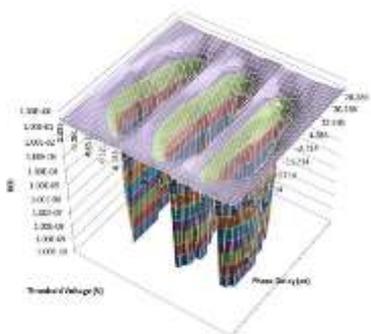
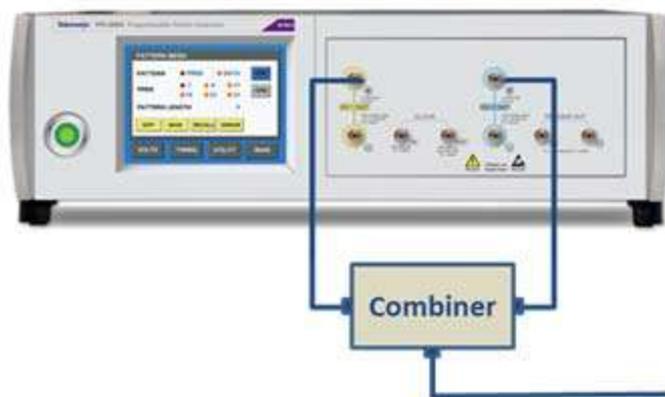
Description	Mean	Std Dev	Max	Min	p-p	Population	Max-cc	Min-cc
Period1, Ch1	40.000ps	2.8296ps	48.280ps	32.035ps	16.245ps	24997	13.698ps	-14.415ps
RJ-561, Ch1	579.82fs	0.0000s	579.82fs	579.82fs	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
DJ-561, Ch1	17.188ps	0.0000s	17.188ps	17.188ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
TJ@BER1, Ch1	25.305ps	0.0000s	25.305ps	25.305ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Width1, Ch1	21.941ps	0.0000s	21.941ps	21.941ps	0.0000s	1	0.0000s	0.0000s
Height1, Ch1	141.59mV	0.0000V	141.59mV	141.59mV	0.0000V	1	0.0000V	0.0000V

Options: Clear, Recalc, Single, Run, Show Plots

高速背板：高阶调制如PAM4

Tek独有

PPG3202 Pattern Generator



28 Gb/s 时的 PAM4 眼图

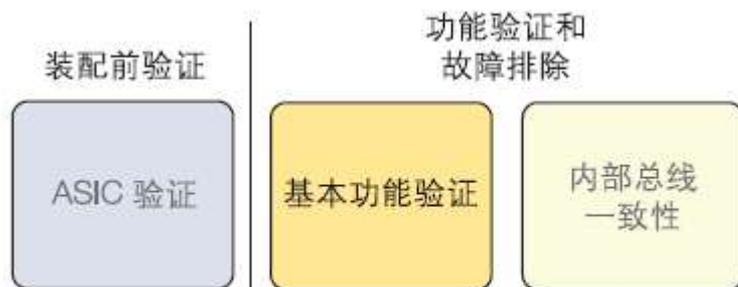
高阶调制相比传统的NRZ强度调制对于板材要求相对较低，且频谱利用率高，所以在未来100G/400G应用里面是背板的一个重要研究方向

泰克唯一地提供了32G PAM4的码型生成和误码测试能力，包括浴盆曲线、抖动分析

第二部分：基本功能验证



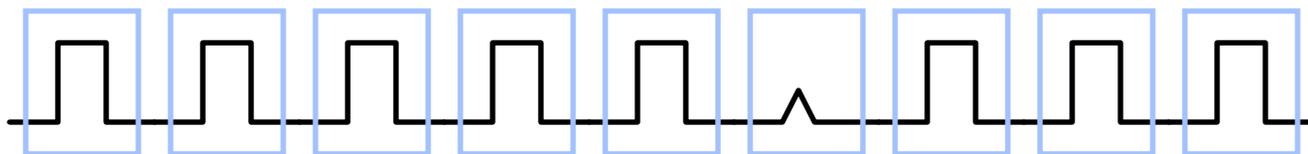
基本功能验证



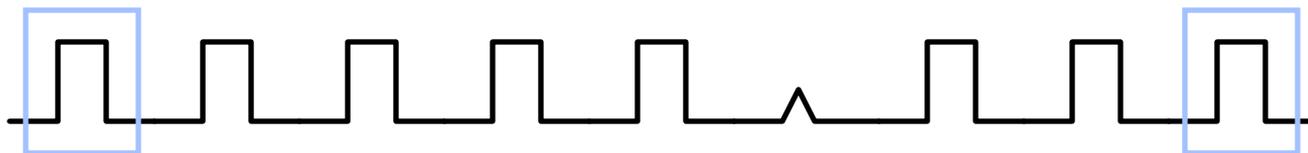
- 完成**PCB** 阻抗测量和元器件验证后，开始装配原型并开始“实际”测量了。功能问题主要在设计过程的下几步显现，并且这些问题必须得到解决。其中的大多数问题都源自于信号完整性问题。将主板上的部件装配到位并协同工作之后，才可能检测到这些问题。
- **DPO**（数字荧光示波器）是基本功能验证的首选工具。
 - **DPO** 可用于数字系统故障排除、查找间歇性信号，还可用于许多类型的眼图和模板测试。
 - 选择合适的探头系统

数字荧光显示技术(DPO)

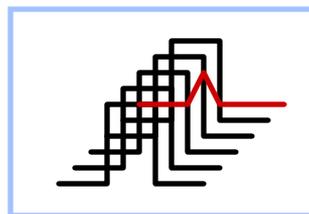
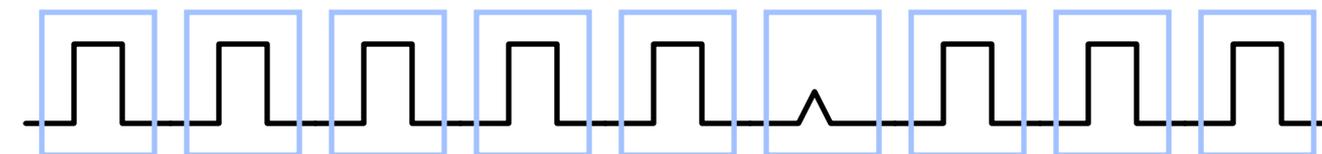
模拟实时



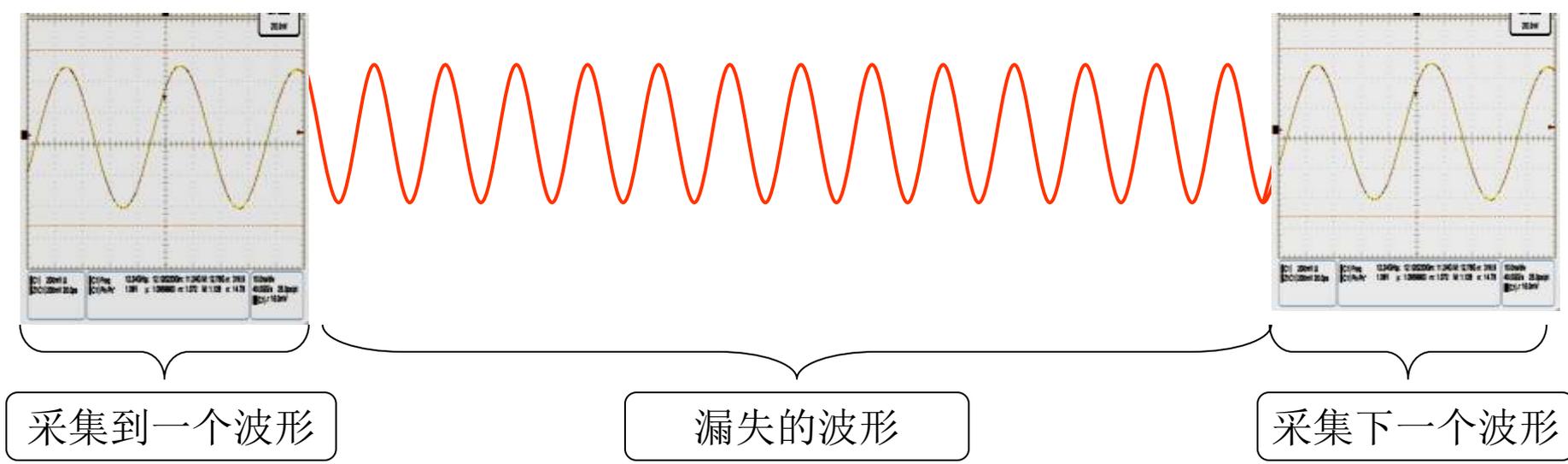
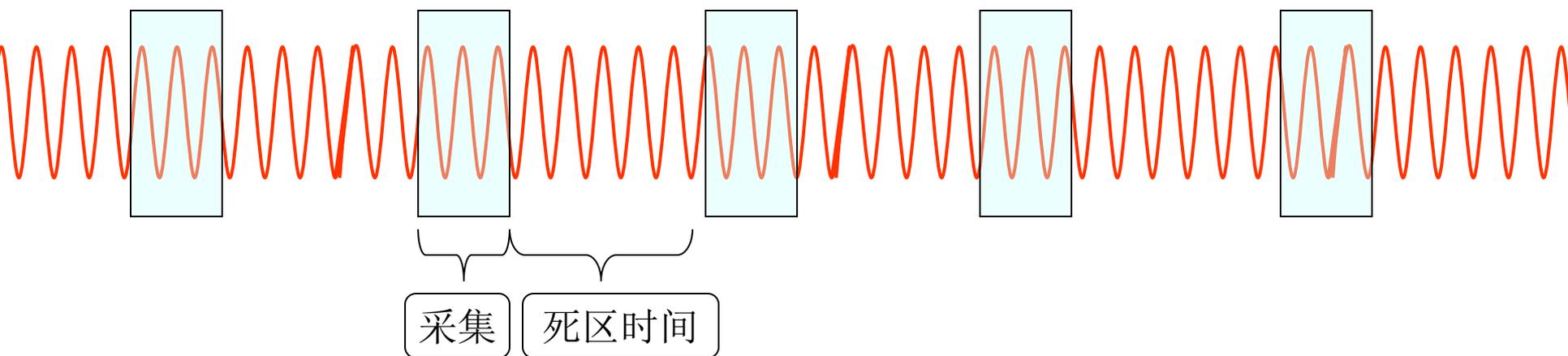
数字存储



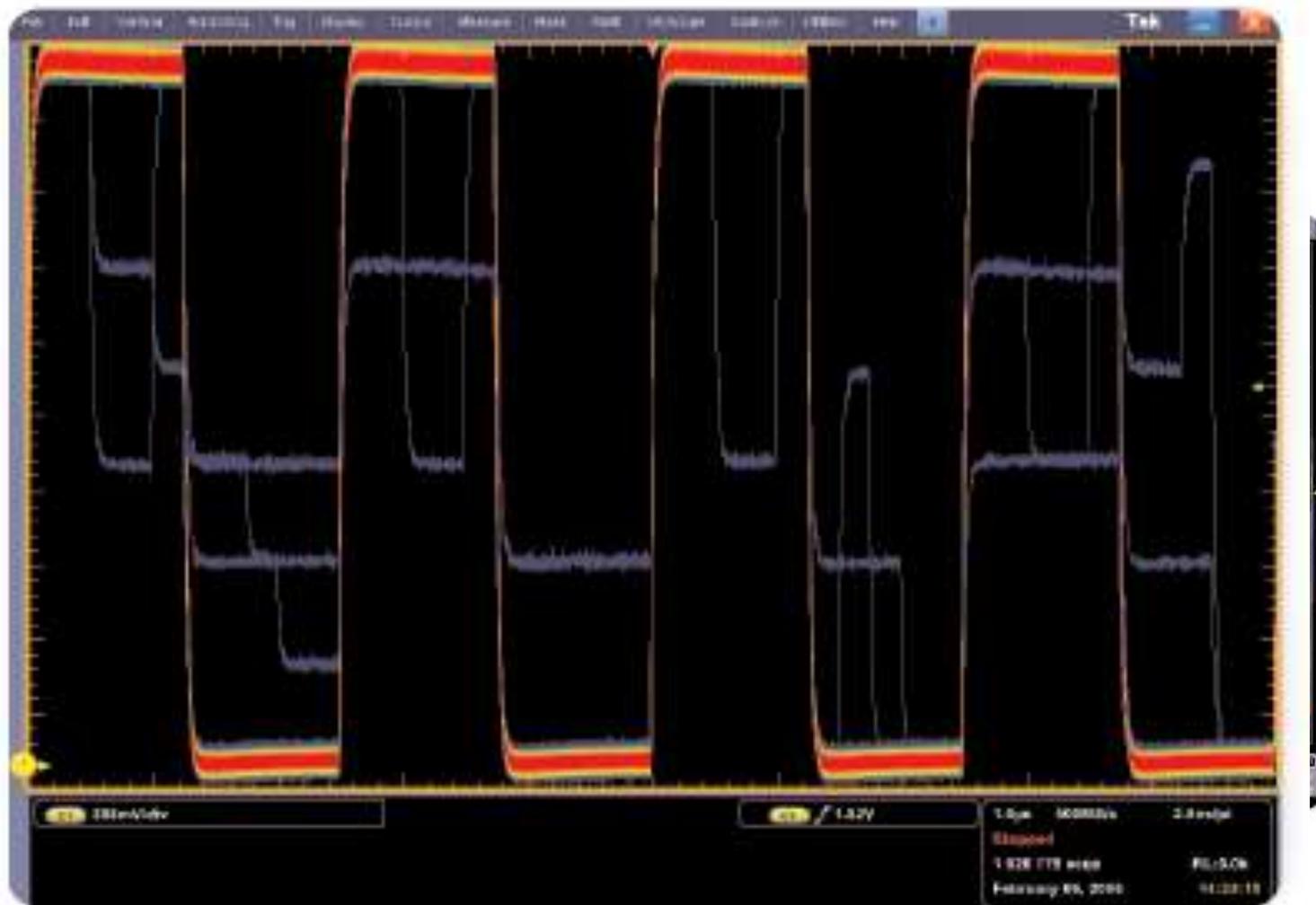
数字荧光



DPO的效率——快速发现问题

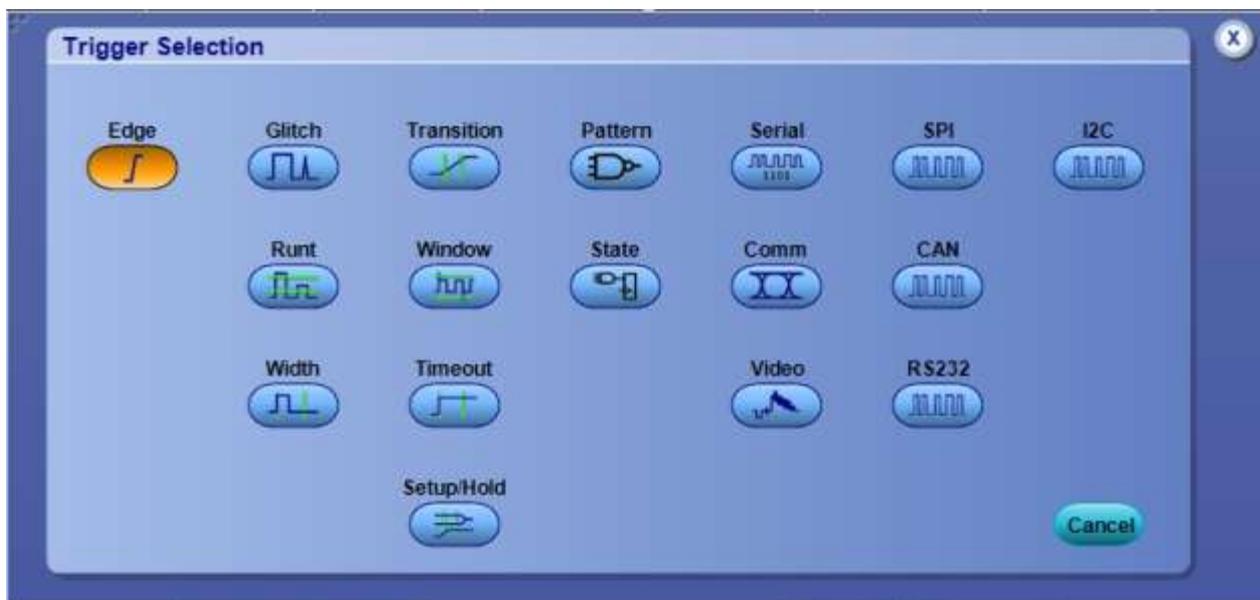


DPO的波形捕获率——眼见为实



DPO的效率——触发系统

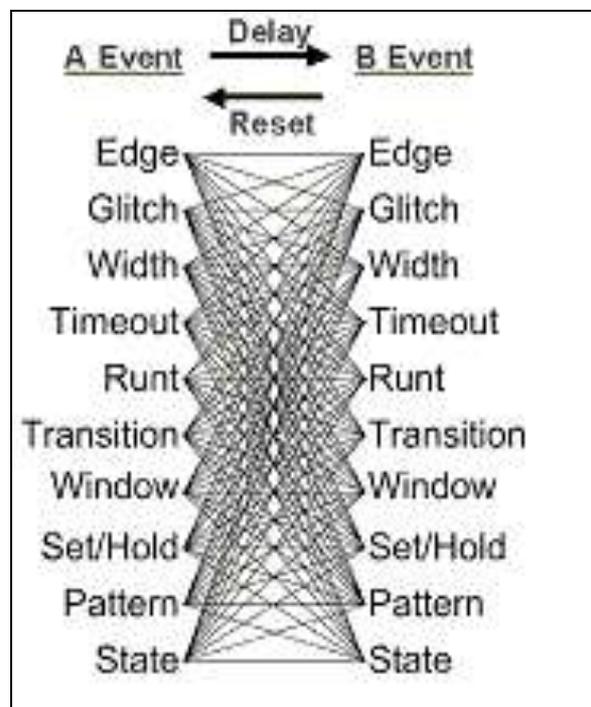
- 触发系统——最快定位电路特定行为的工具
- 聪明的工程师使用触发——泰克使您更聪明
 - ▶ 完美的Pinpoint™触发系统，可以几乎没有限制地定义条件，捕获最快的瞬变信号。
 - ▶ 丰富的高级触发功能如毛刺，Runt，建立/保持时间等对系统调试有重大意义。



DPO的效率——触发系统

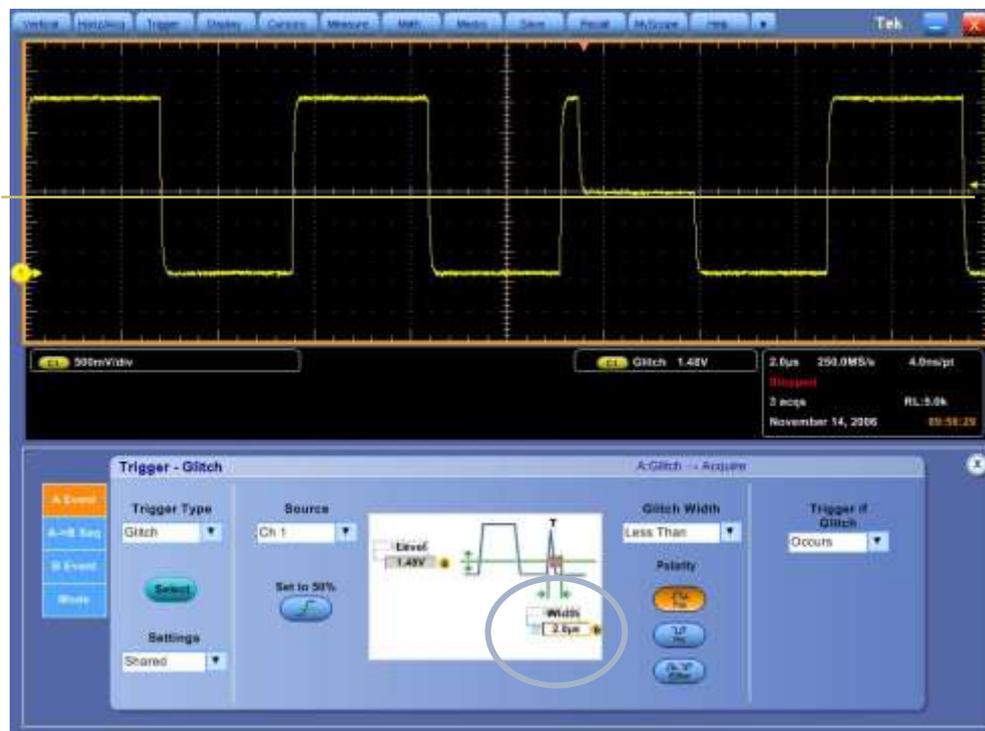
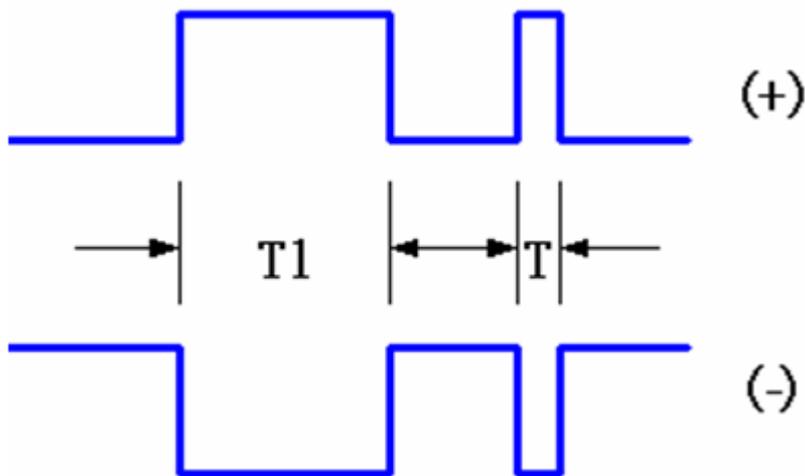
- 使用顶级的触发技术
 - 在所有触发方式下使用最新一代SiGe技术，性能全面超过业界其它产品
- AB两级触发互相独立
 - 可以任意组合毛刺、宽度等触发方式
- Pinpoint™ 触发系统
 - 业界最完善的触发系统
 - 唯一完善的双触发系统

Virtually Unlimited Trigger Combinations
Plus Comm & Serial



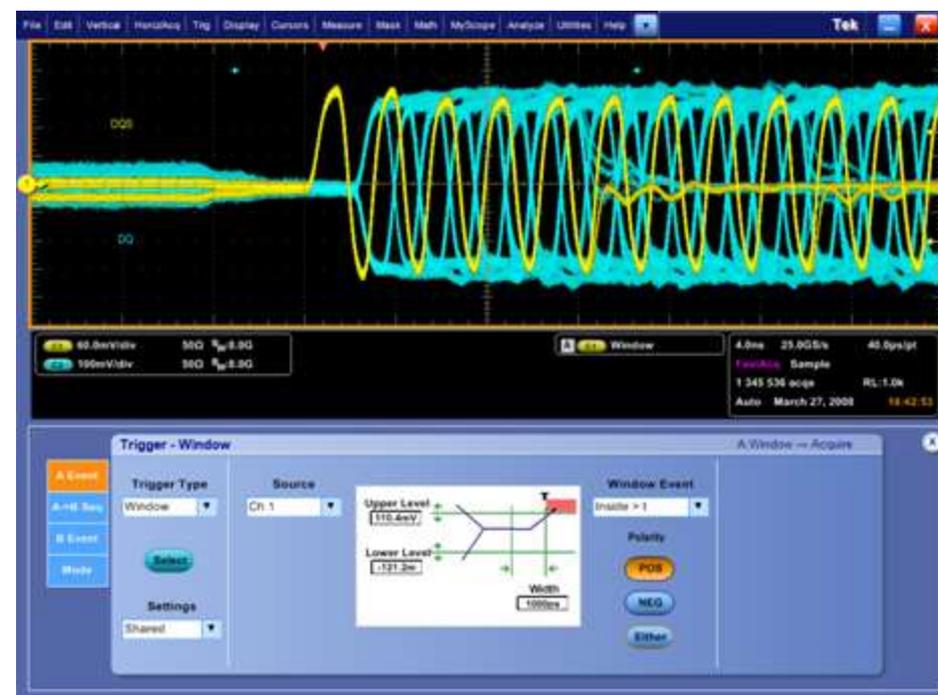
毛刺触发

- 捕获波形宽度突然变窄的信号时使用
- 先定义一个波形脉宽T1
- 波形信号的宽度T，当 $T < T1$ 时，触发
- 可选择正或负边沿触发



Pinpoint触发： DDR读写分离

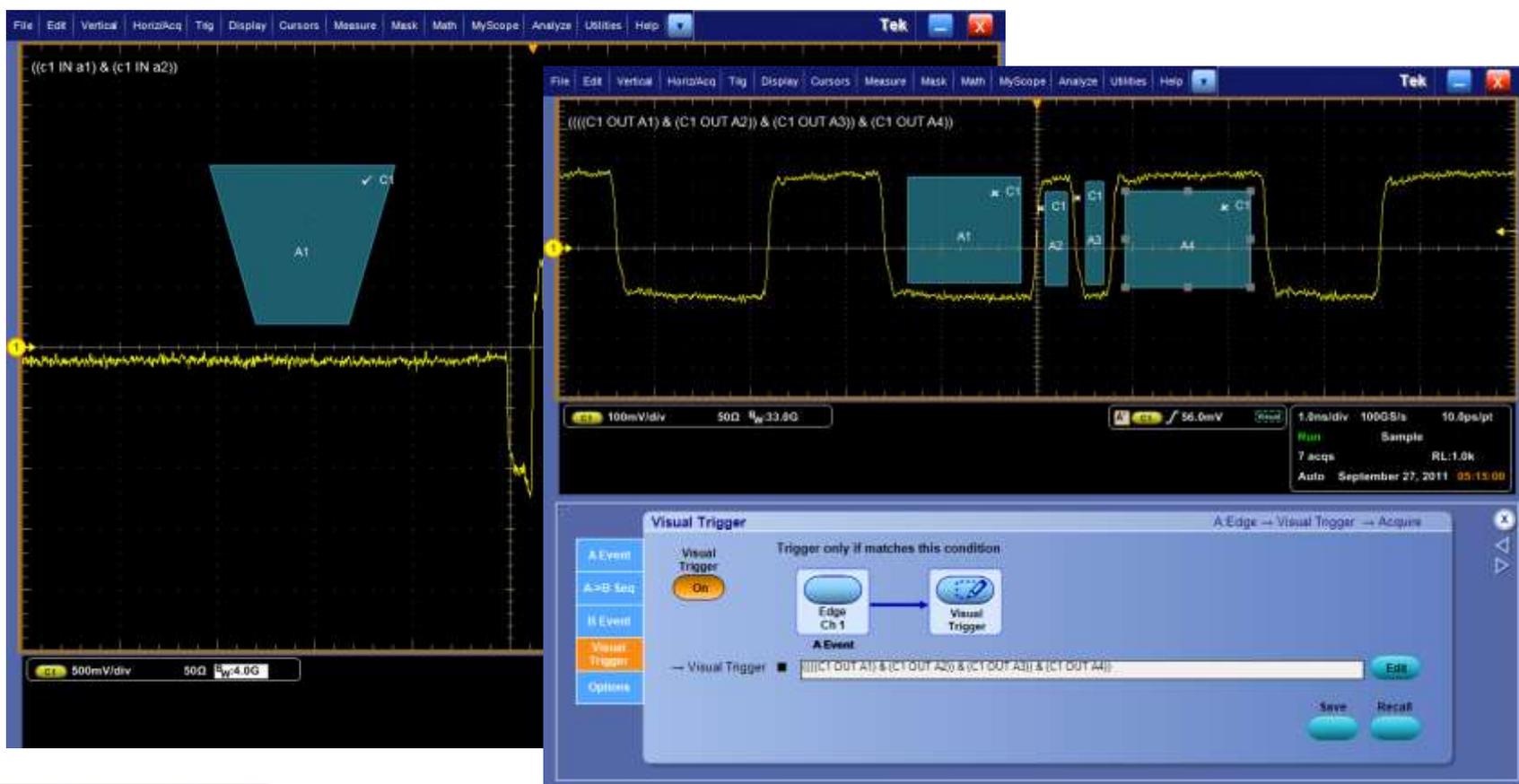
- 根据DQ/DQS的幅度和相位关系可以快速分离信号
 - DPO高效实时性可以提供对信号的实时观测，发现信号中的任何瞬变异常信号
 - DPX专利和触发结合，定位任何感兴趣的信号



视觉触发（Visual Trigger）：画框触发

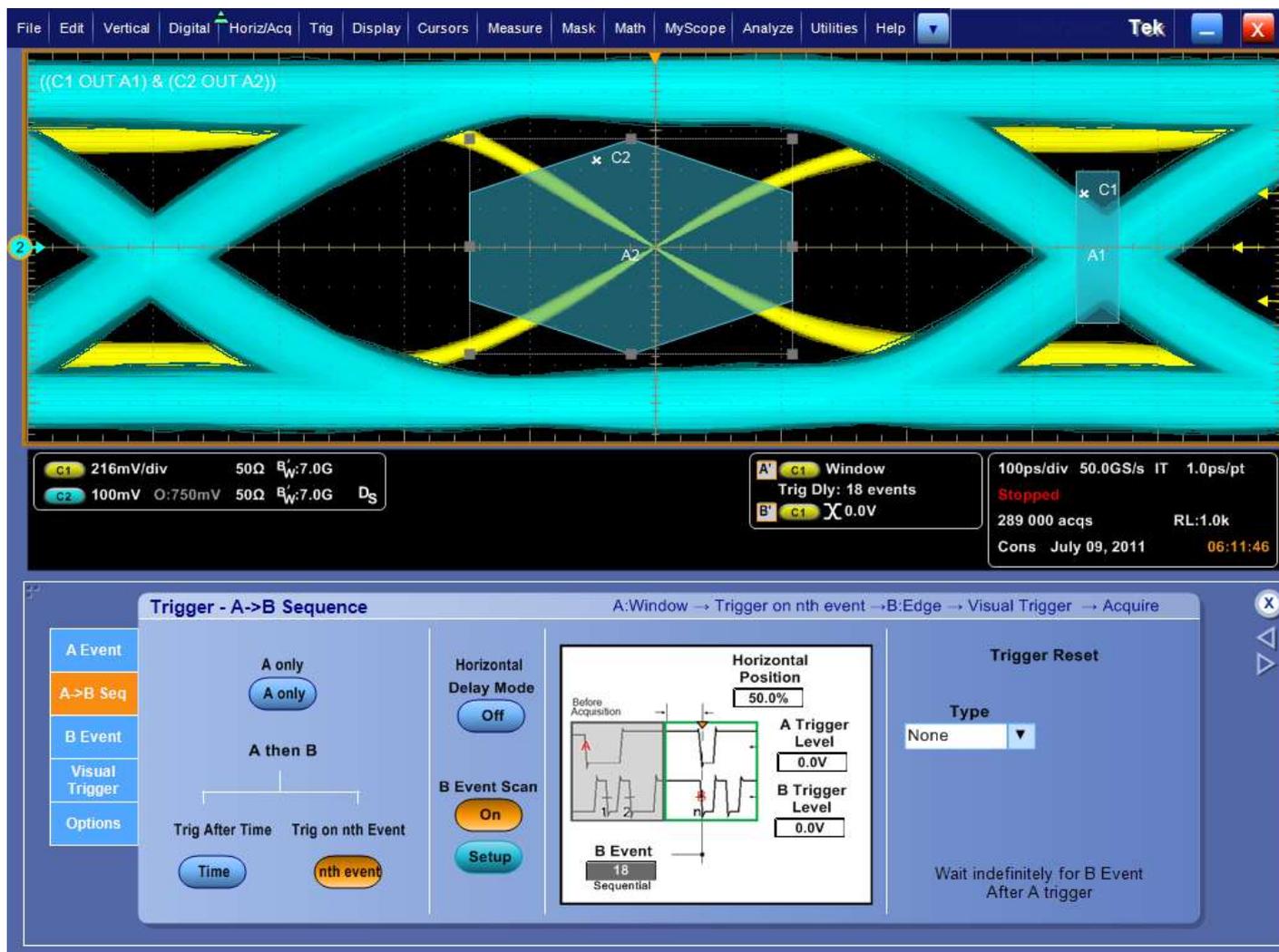
DPO5
K标配

- 在屏幕上根据自己需要，任意定义最多达8个区域，然后可以通过AND/OR/NOR等方式组合这些区域，来实现对于特定信号的定位和捕获

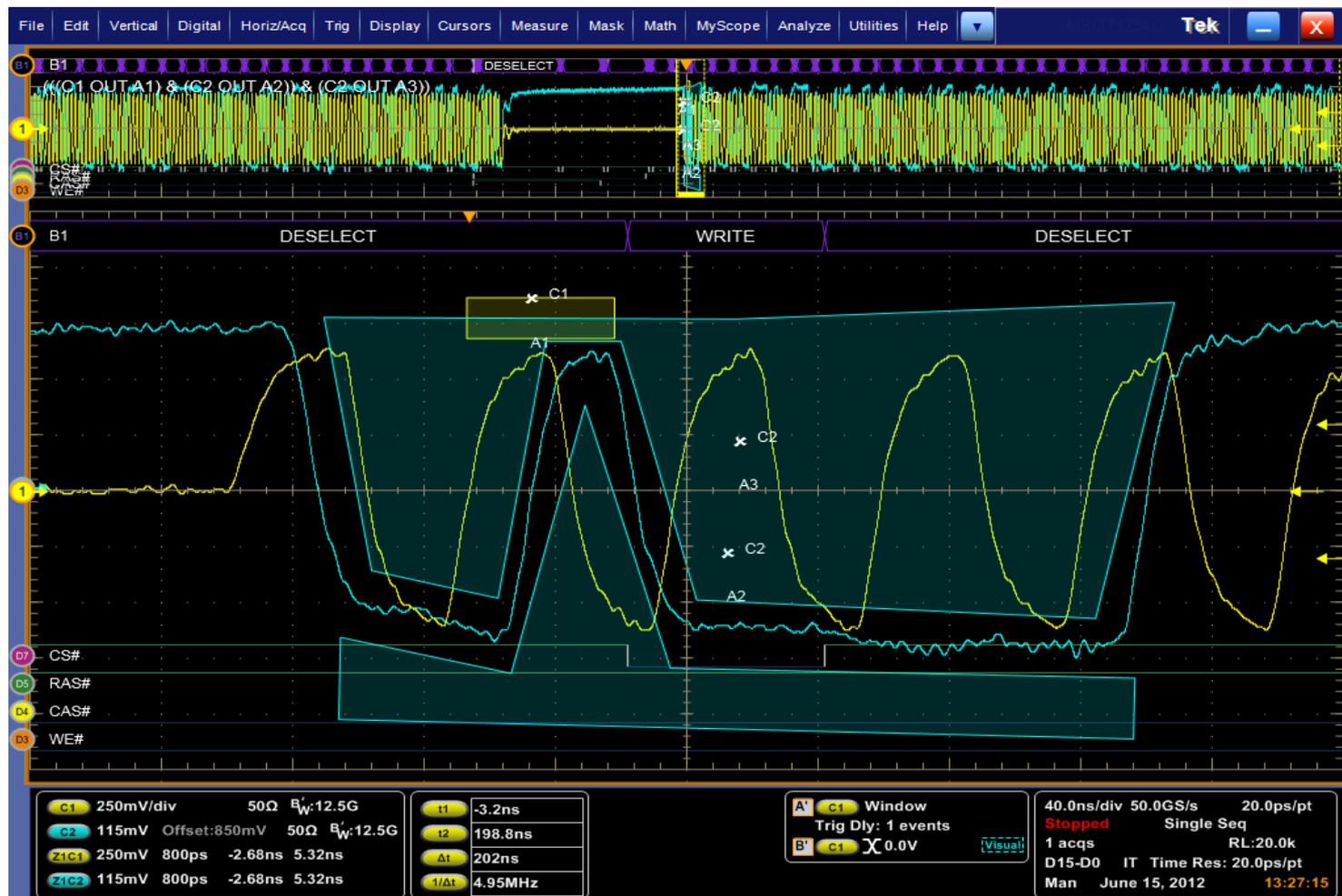


视觉触发（Visual Trigger）：自定义画框触发

Persistence Write Eye

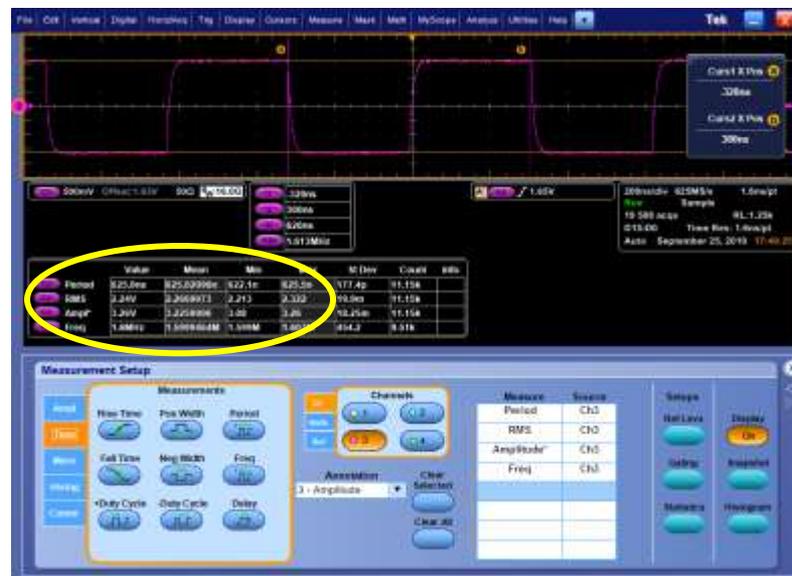


视觉触发（Visual Trigger）：定位DDR DQ特定码型 010000X Pattern



自动测量与统计分析

- 自动测量波形参数，包括：周期，频率，正/负脉冲，上升时间，下降时间，正/负工作周期，延迟，相位，脉冲宽度，高/低值，最大/最小值，峰峰值，振幅，上/下过冲，取平均值，周期平均值，均方根值，周期均方根值，区域值，周期区域值，突发脉冲串长度等五十多项参数。
- 每一测量参数皆可加入统计值，包括：最大/最小统计值，平均统计值及标准差
- 结合泰克DPOJET软件，可以一次测试上万个信号的时间参数，且将每个参数值导出

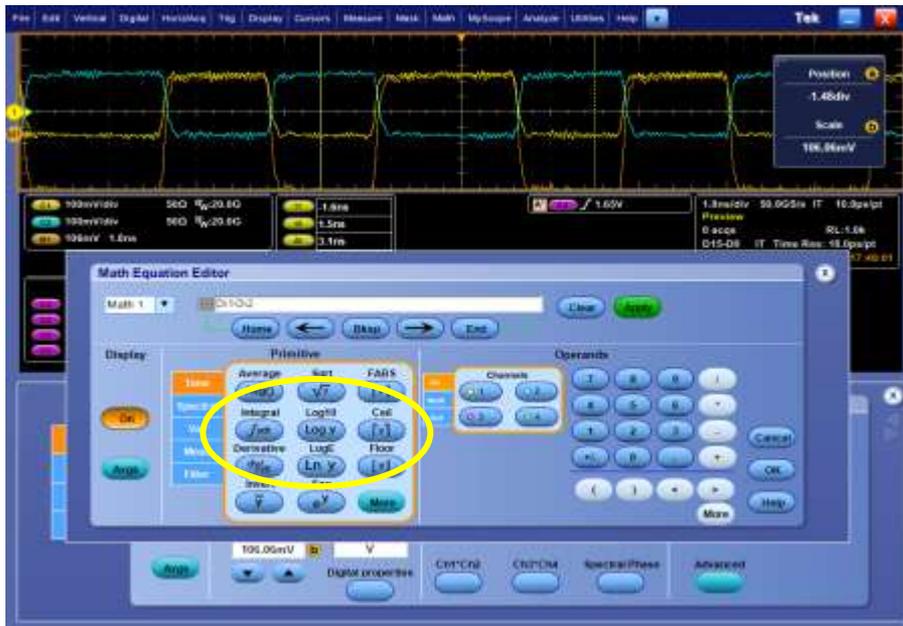


自动测量与统计分析

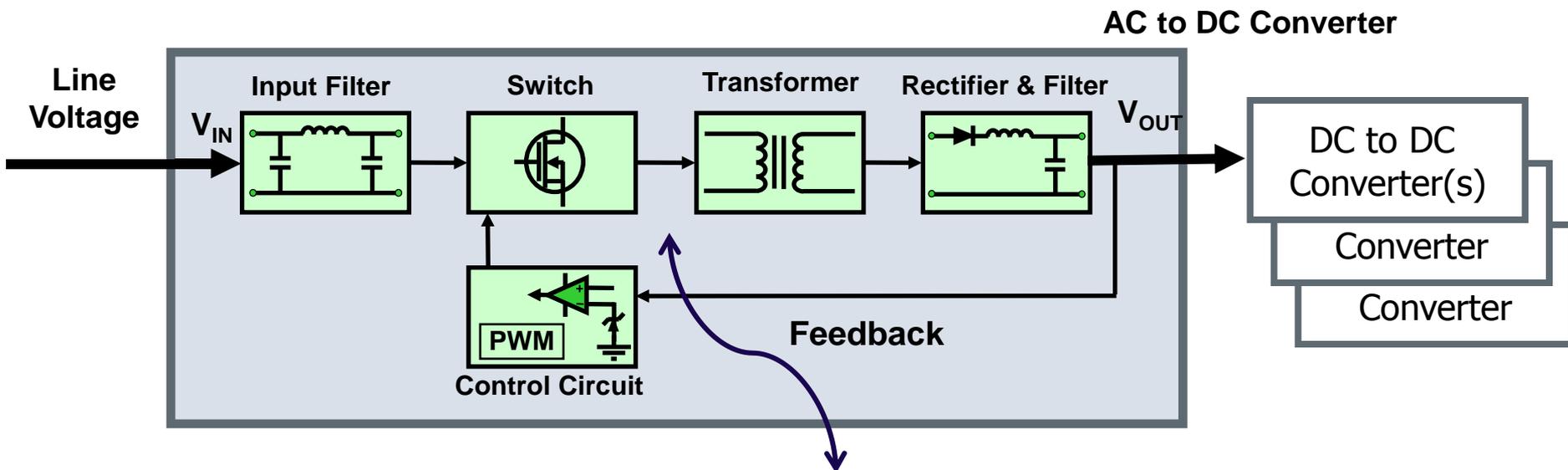
数学运算(Math)功能分为时间运算及频率运算两部分，可以是单一通道运算或多（复合）通道间运算。

时间运算包括取平均(Average)、倒数(Invert)、对数(log10及loge)、积分(Integral)、微分(Derivative)、均方根(Square Root)、指数(Exponent).....

频率运算主要是对于幅度和相位的FFT变化，可以根据需要选择RBW滤波器模型



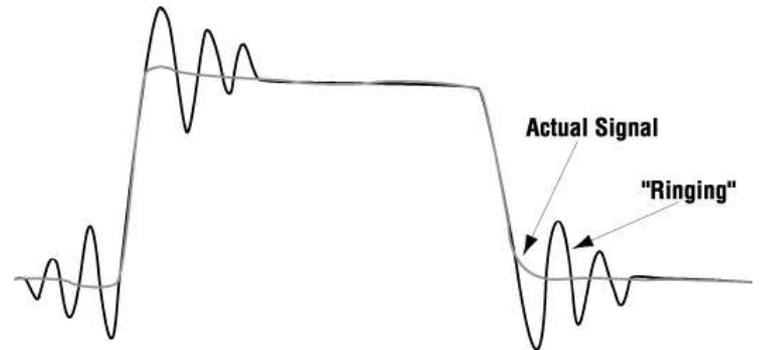
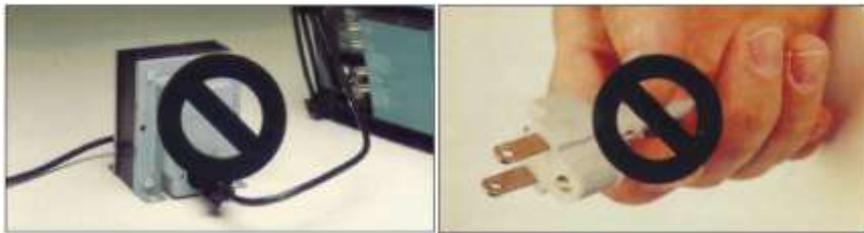
电源完整性 典型开关电源电路



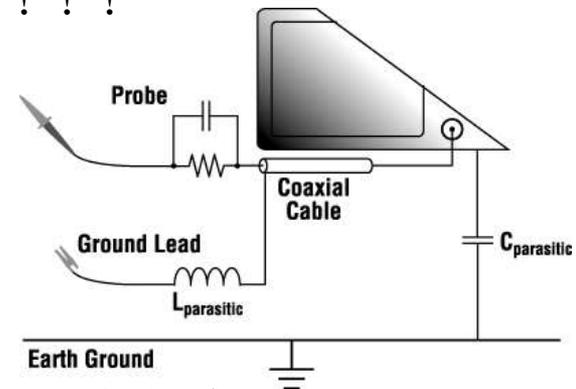
- 交流输入端
 - 电流谐波
 - 电源质量
 - 浪涌电流
- 直流输出端
 - 频谱分析
 - 纹波
- 开关系统
 - 开关损耗
 - 安全工作区
 - PWM解调
 - 被动元件（变压器）
 - 电感
 - 磁功率损耗
 - B-H 曲线

安全准确地探测“浮动”电压

- 交流供电的普通示波器是以“地为参考点的测量”
- 示波器探头的地线与示波器的机壳和所有通道输入端电气相连
- 剪断示波器地线或使用隔离变压器将示波器从保护地线浮动起来的**危险**:
 - 操作人员触电
 - 示波器损毁
 - 测试结果不准确



分布电容和电感还可能带来原本没有的振铃!!!!



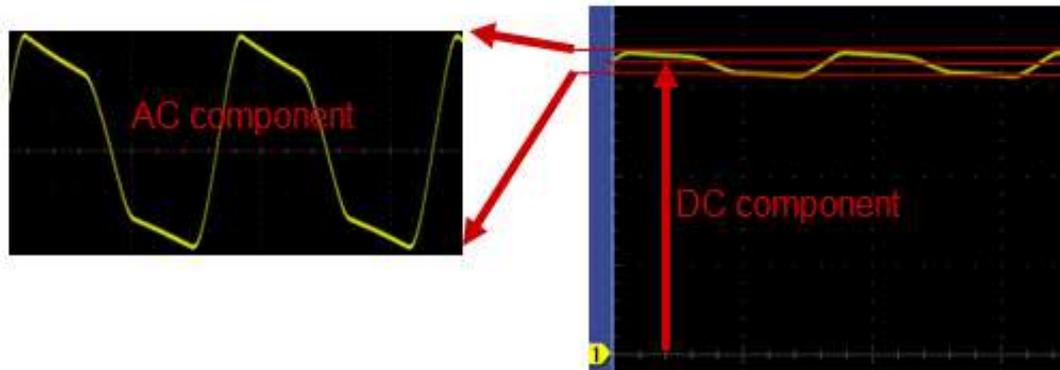
▶ 正确方法:

采用差分探头或采用隔离通道、电池供电示波器进行安全测量。

不可用剪断示波器接地线的方法进行差分测量!
不可使用隔离变压器进行差分测量!

电源完整性：纹波测试

- 纹波：Ripple，是一种周期性的AC成分
 - 通常叠加在DC分量上，相对于DC一般幅度小很多
 - 建议用无衰减1 X探头（如泰克P6246 / TPP0502等）或同轴线加电容测试
 - 跟示波器的DC增益精度和垂直灵敏度关系挺大
- 纹波频率通常取决于
 - 电源供电频率 Line frequency
 - ~120 Hz in countries with 60 Hz power
 - ~100 Hz in countries with 50 Hz power
 - 开关切换频率 MOSFET Switching frequency
 - 典型 > 100 kHz



DC增益精度 & 垂直刻度 Vertical Scale (mv/div)

- DC增益精度为示波器去量测直流信号时候的量测误差，一般在 $\pm 1\%$ 左右
- 输入灵敏度mv/div：用于调整不同档位去最大化信号到满屏进行测试，由示波器前端纯硬件放大器的调节范围决定，放大/Zoom/Magnification等属于视觉的软件放大，跟仪器硬件无关
- 输入灵敏度的用途：高的输入灵敏度有利于测试电源纹波、高斯噪声、共模电压（Common Mode Voltage等），这些一般都在十几个mv左右的量级，所以需要将垂直刻度打到比较小的档位，如1mv/div

Figure 3. Correct output ripple and noise test

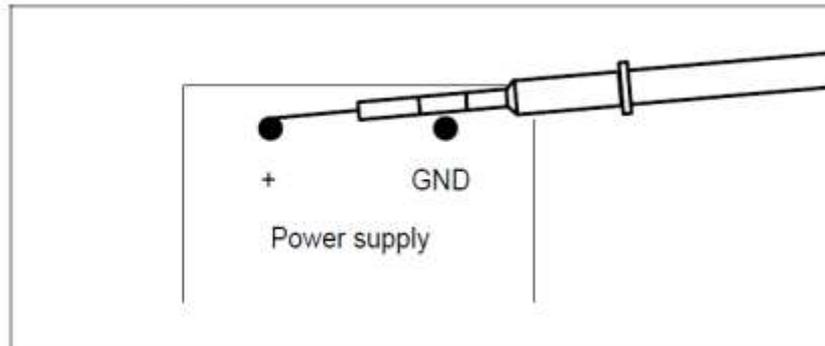
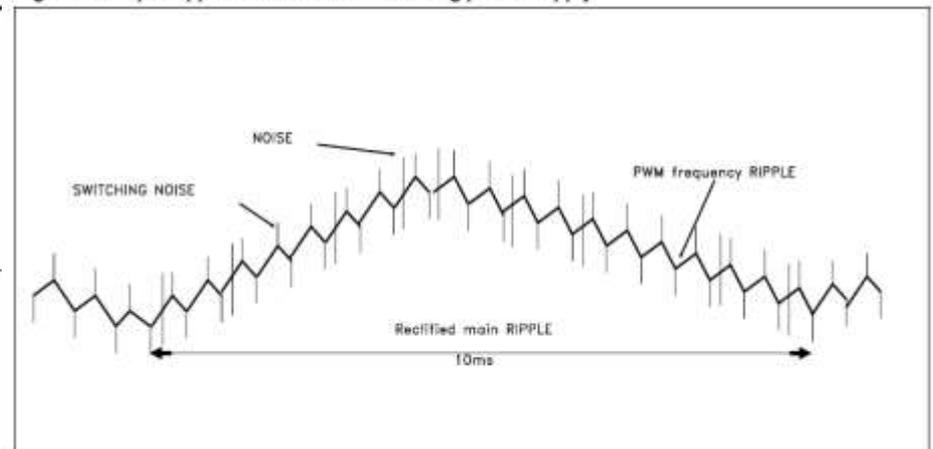


Figure 1. Output ripple and noise of a switching power supply



垂直刻度 Vertical Scale (mv/div)

- 泰克DPO7000C/DPO5000B系列数字荧光示波器

输入灵敏度

1 M Ω : 1 mV/格 – 10 V/格;
50 Ω : 1 mV/格 – 1 V/格

- 某公司DSO A/H系列数字存储示波器

- DSO H系列高清示波器

输入灵敏度³

1 M Ω : 1mV/格至5V/格
50 Ω : 1mV/格至1V/格

- DSO A系列示波器

输入灵敏度³

1 M Ω : 1mV/格至5V/格
50 Ω : 1mV/格至1V/格

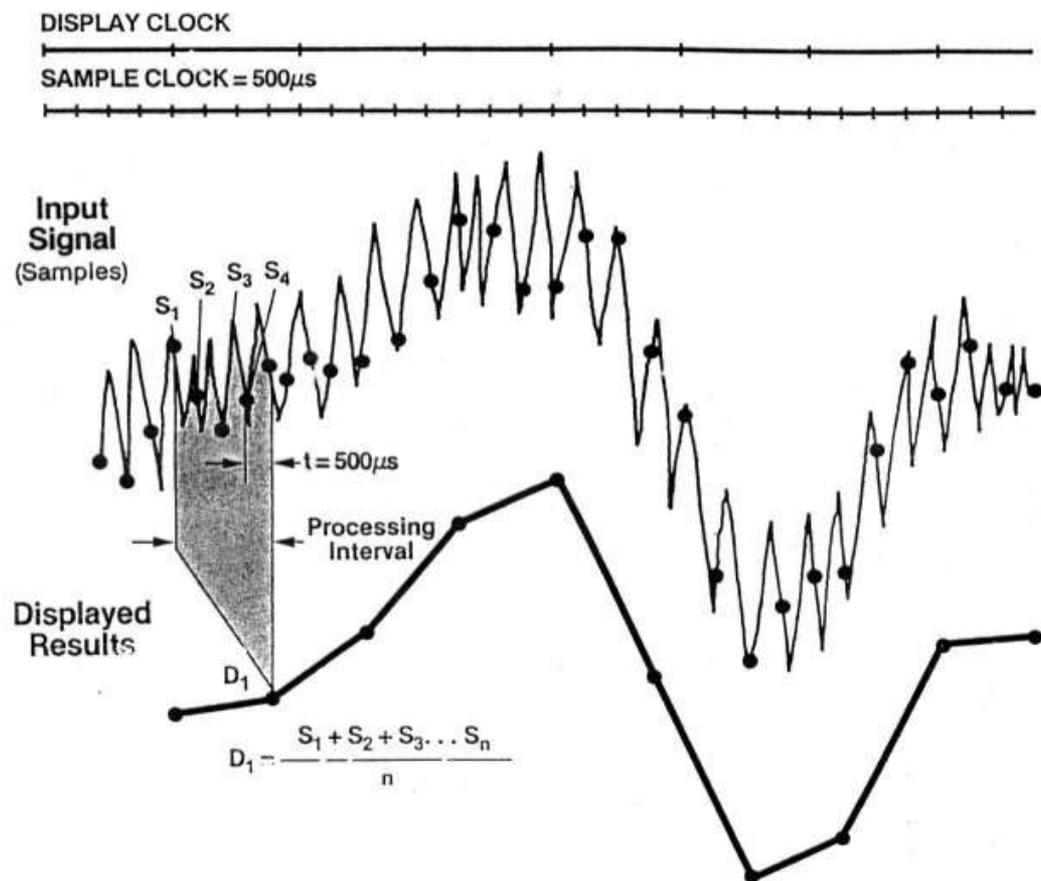
垂直分辨率未有任何提升

- 其注释3如下描述，实为zoom放大去看，跟实际硬件采集无关

3. 50 Ω 输入: 全量程定义为8个垂直分格。放大率在10mV/格下使用。主要标度设置为5mV, 10mV, 20mV, 50mV, 100mV, 200mV, 500mV, 1V。

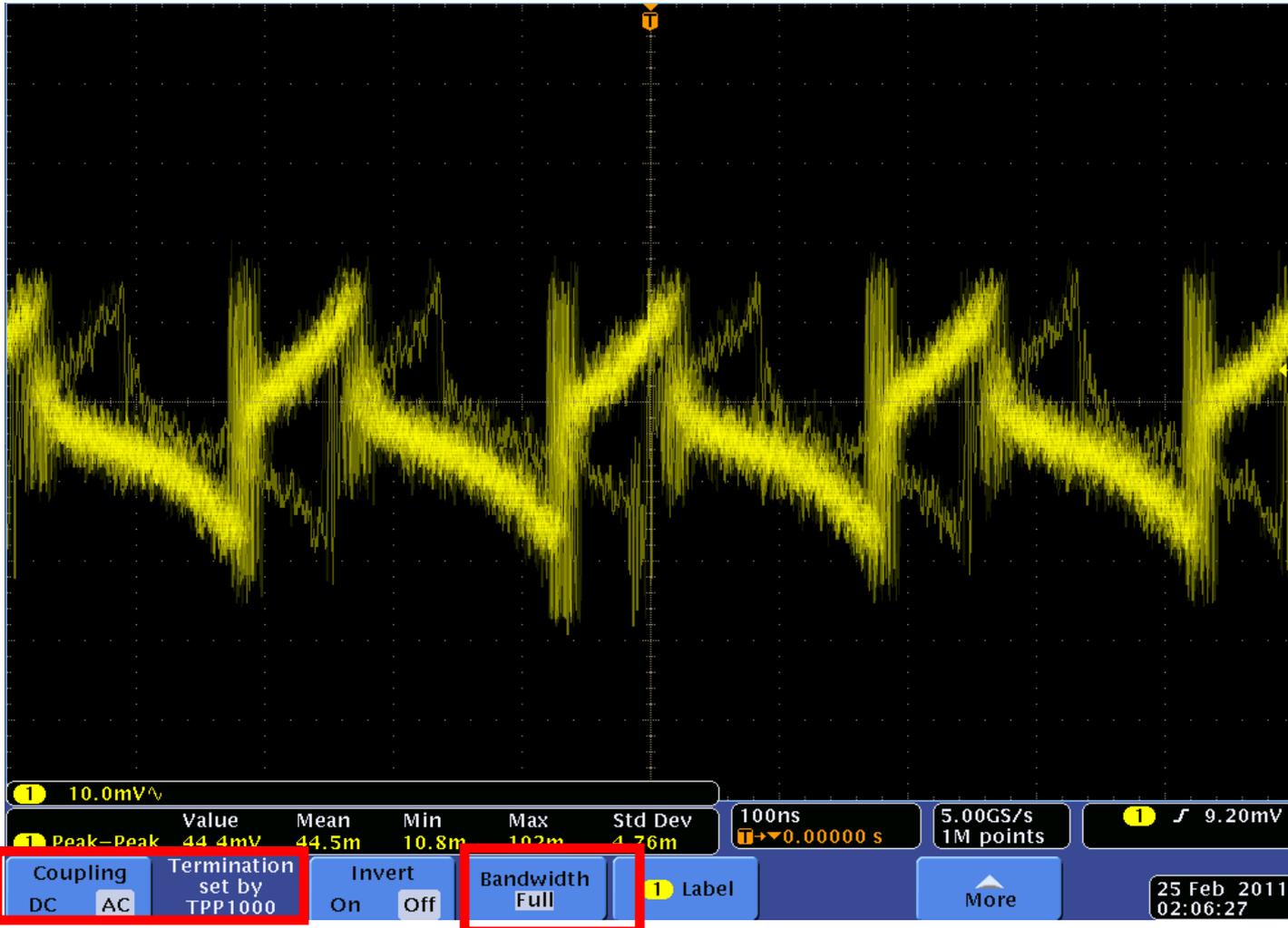
1M Ω 输入: 全量程定义为8个垂直分格。放大率在5mV/格下使用。全量程定义为40mV。主要标度设置为5mV, 10mV, 20mV, 50mV, 100mV, 200mV, 500mV, 1V, 2V, 5V。

High-Resolution 高分辨率采集模式可以到11位分辨率



- 泰克DPO7000C提供了同档最高的40GS/s高速采样率
- 高速采样可以提供了更高过采样率，从而可以提高仪器的动态范围，增强对小信号的识别区分能力
- 高分辨率模式下，ADC等效有效位数可以提升到11位，从而提供了更高的信噪比

TPP1000, 10X衰减探头, 1G带宽



TPP0502, 2X Probe 2倍衰减无源探头

TPP0502
2倍衰减
300V CATII范围
500MHz带宽



P6246/P6247/P6248系列差分探头

配合DPO7000C,
是intel等公司电源测试的标配

■ 典型特点:

- 1X 模式下提供 1.7G/1G/400MHz带宽
- 共模抑制比CMRR超过60dB (1000:1)
- 容性负载 <1 pF
- 适用于泰克所有示波器

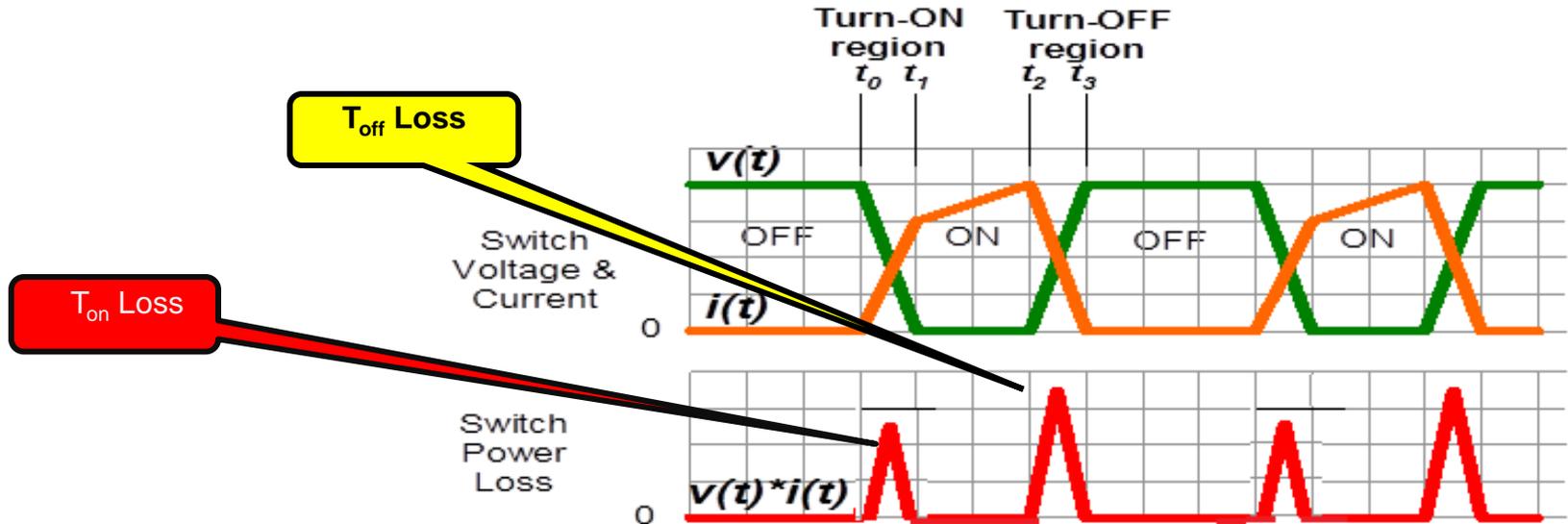
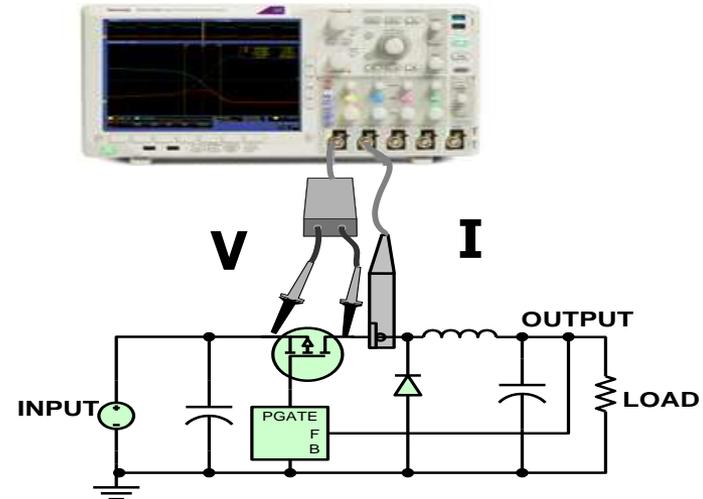
■ 典型应用:

- 通信以太网/IEEE测试
- 半导体验证RAMBUS
- 地弹信号抓取
- 电源纹波等小信号测试



开关损耗测试

- 大部分能量消耗在晶体管的转换过程中
- 通用测量:
 - Turn Off Loss
 - Turn On Loss
 - Conduction Loss
 - Total Loss
 - Dynamic On Resistance
 - Slew Rate (dv/dt , di/dt)
 - Safe Operating Area



开关损耗测试过程

添加开关损耗测试项目

设置测量项目

测量结果

Measurement	Source(s)
Switching Loss0	V:Ch1 I:Ch2
Hi-Power Finder0	V:Ch1 I:Ch2
RDS(on)0	V:Ch1 I:Ch2
di/dt0	I:Ch2
dv/dt0	V:Ch1
SOA0	V:Ch1 I:Ch2

Measurement	Source(s)	Type	On/Off Level	Options
Switching Loss0	V:Ch1 I:Ch2	AC		Global
Hi-Power Finder0	V:Ch1 I:Ch2	DC		Global
RDS(on)0	V:Ch1 I:Ch2	AC		Global
di/dt0	I:Ch2	AC		Global
dv/dt0	V:Ch1	AC		Global
SOA0	V:Ch1 I:Ch2	AC		Global

Measuremer	Min	Max	Mean	Std Dev	Peak-Peak	Population	Result
Switching L...	236.134mW	239.956mW	237.875mW	828.279uW	3.821mW	51.000	Success
Hi-Power F...	3.396W	3.518W	3.470W	34.611mW	122.079mW	51.000	Success
RDS(on)0	0.00hm	35.917kOhm	148.182Ohm	909.500Oh...	35.917kOhm	10.000k	Success
di/dt0	-4.116MA/s	110.765kA/s	NA	NA	NA	105.000	Success
dv/dt0	-49.713MV/s	11.203MV/s	NA	NA	NA	105.000	Success
SOA0	NA	NA	NA	NA	NA	1.000	Success

MSO/DPO5000B系列混合示波器

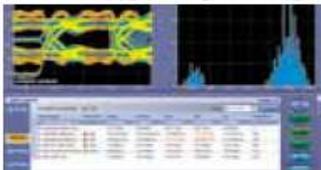


产品特点

- Windows 7 Ultimate 64 位操作系统和触摸屏显示器
- FastAcq™ 技术，>250,000 wfm/s 最大波形捕获速率
- 超过 350 种触发组合可以选择，包括建立时间 / 保持时间、串行数据包和并行数据
- Wave Inspector®，自动搜索最多 8 个波形事件
- 53 种自动测量和 FFT 分析



标配 4 只无源探头，高达 1 GHz 的带宽，业内最优秀的 3.9 pF 电容负荷。



免费标配 DPOJET 基本版抖动和眼图分析软件包。

型号	模拟通道	数字通道	模拟带宽	模拟采样率 (4 通道 / 2 通道)	数字采样率 主时基 / MagniVu™
DPO5034	4	—	350 MHz	5 GS/s	—
MSO5034	4	16	350 MHz	5 GS/s	500 MS/s / 16.5 GS/s
DPO5054	4	—	500 MHz	5 GS/s	—
MSO5054	4	16	500 MHz	5 GS/s	500 MS/s / 16.5 GS/s
DPO5104	4	—	1 GHz	5 GS/s / 10 GS/s	—
MSO5104	4	16	1 GHz	5 GS/s / 10 GS/s	500 MS/s / 16.5 GS/s
DPO5204	4	—	2 GHz	5 GS/s / 10 GS/s	—
MSO5204	4	16	2 GHz	5 GS/s / 10 GS/s	500 MS/s / 16.5 GS/s

DPO7000C系列高性能示波器

电源测试推荐机型

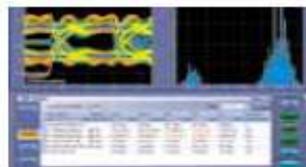


DPO7000C 系列

复杂的设计会在这台示波器面前发抖！它标配 DPX[®] 技术，实现快速波形捕获速率，拥有高级 Pinpoint[®] 触发及超过 15 种应用软件包，加快了高性能器件的调试和分析速度。分身乏术的工程师现在可以梦想成真了！

产品特点

- 500 MHz、1 GHz、2.5 GHz 和 3.5 GHz 型号
- Windows 7 Ultimate 64 位操作系统和触摸屏显示器
- FastAcq™ 技术，>250,000 wfm/s 最大波形捕获速率
- Pinpoint[®] 触发，超过 1400 种触发组合可以选择
- 自动搜索和标记波形事件
- 53 种自动测量和 FFT 分析



免费标配 DPOJET 基本版抖动和眼图分析软件。



为专用应用提供了超过 15 种选配软件包。

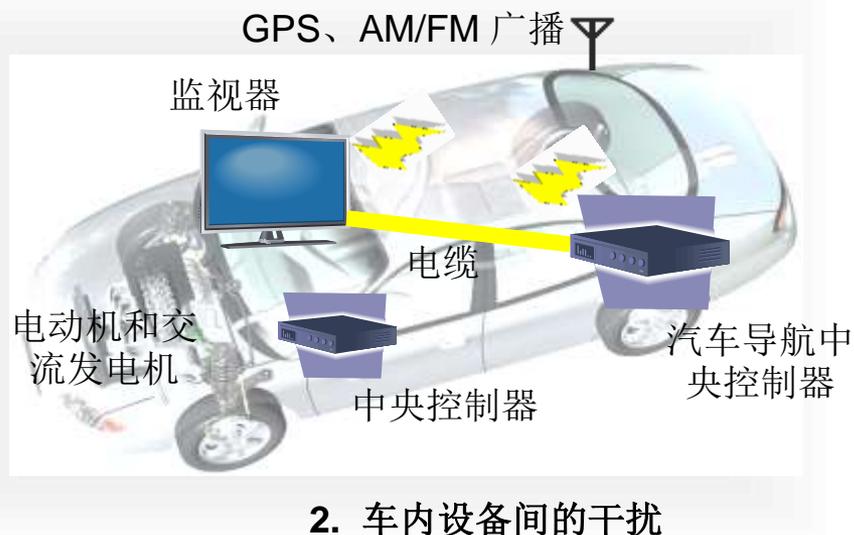
型号	模拟通道	带宽	记录长度 (1/2/4 通道)	模拟采样率
DPO7054C	4	500 MHz	50/25/12.5 M	20/10/5 GS/s
DPO7104C	4	1 GHz	50/25/12.5 M	20/10/5 GS/s
DPO7254C	4	2.5 GHz	50/25/12.5 M	40/20/10 GS/s
DPO7354C	4	3.5 GHz	50/25/12.5 M	40/20/10 GS/s

时域没问题了，那频域呢？

- 现代系统可能在附近位置包括多个噪声源，有意辐射体和多个接收机
- 瞬态噪声可对设计中的集成通信产生干扰
- 设计可以满足规定的 EMI 要求，但仍然无法正常工作



应用示例一：混合动力汽车干扰/噪声



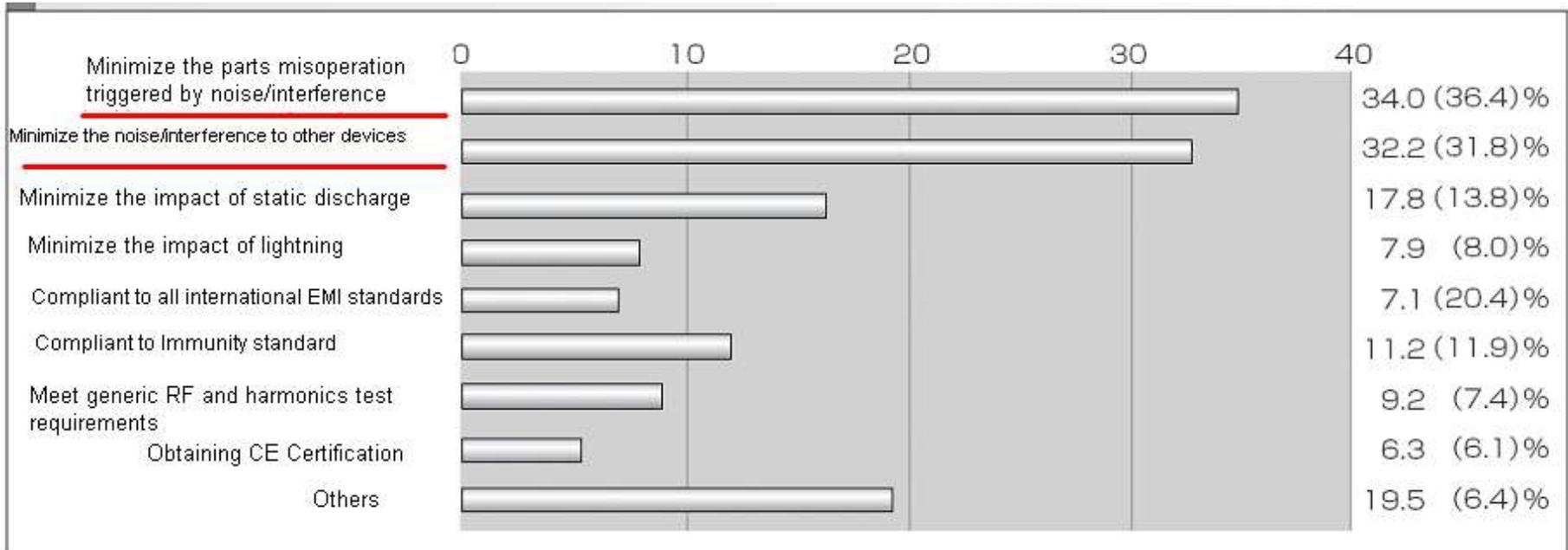
3. 来自中央控制器上的设备的干扰

参考资料: Nikkei Electronics

今天的主要 EMI 测量挑战是什么？

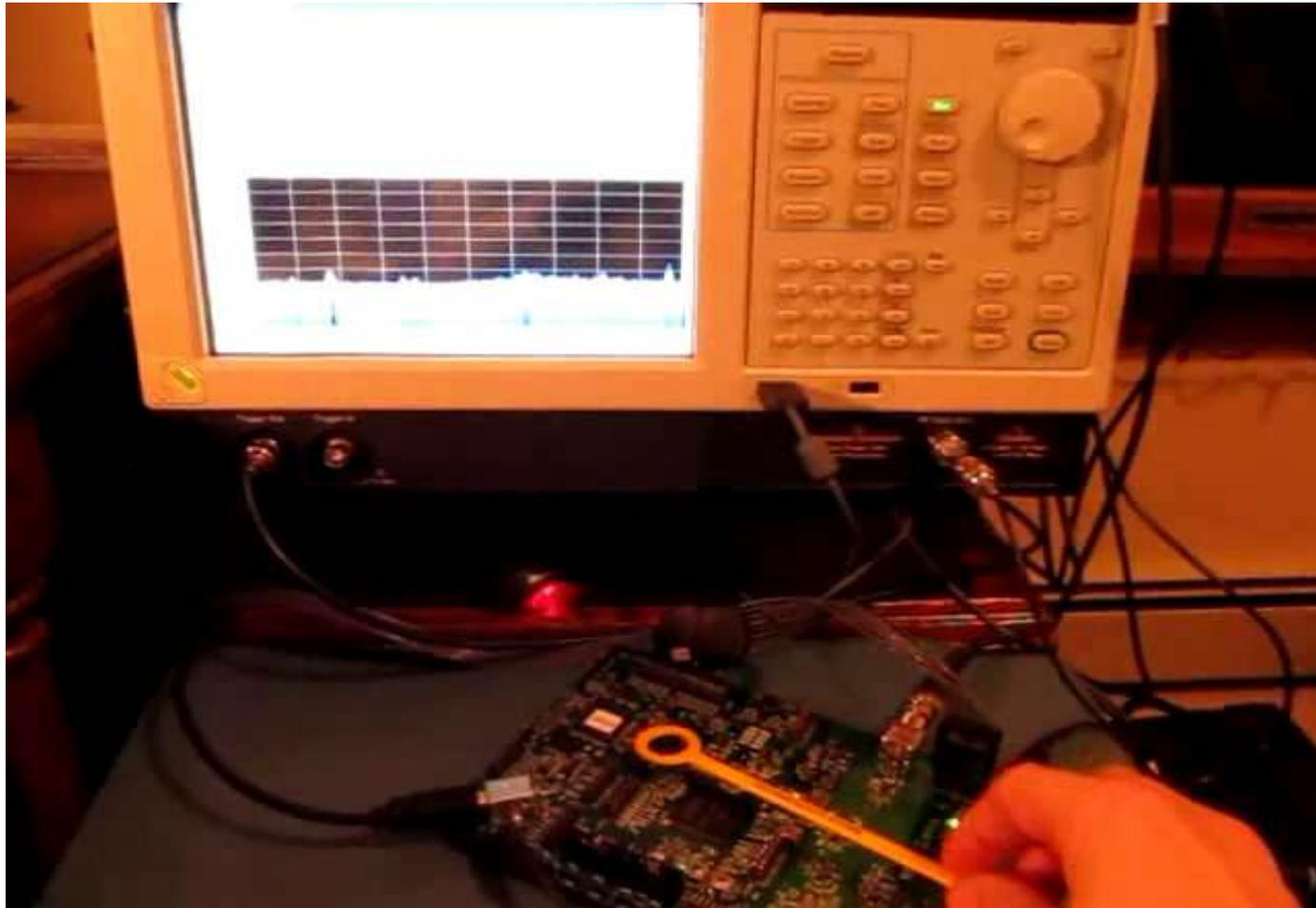


- 如何最小化由噪声/瞬态干扰造成的零部件误动作？
- 如何最小化噪声/瞬态干扰对其他设备的影响？



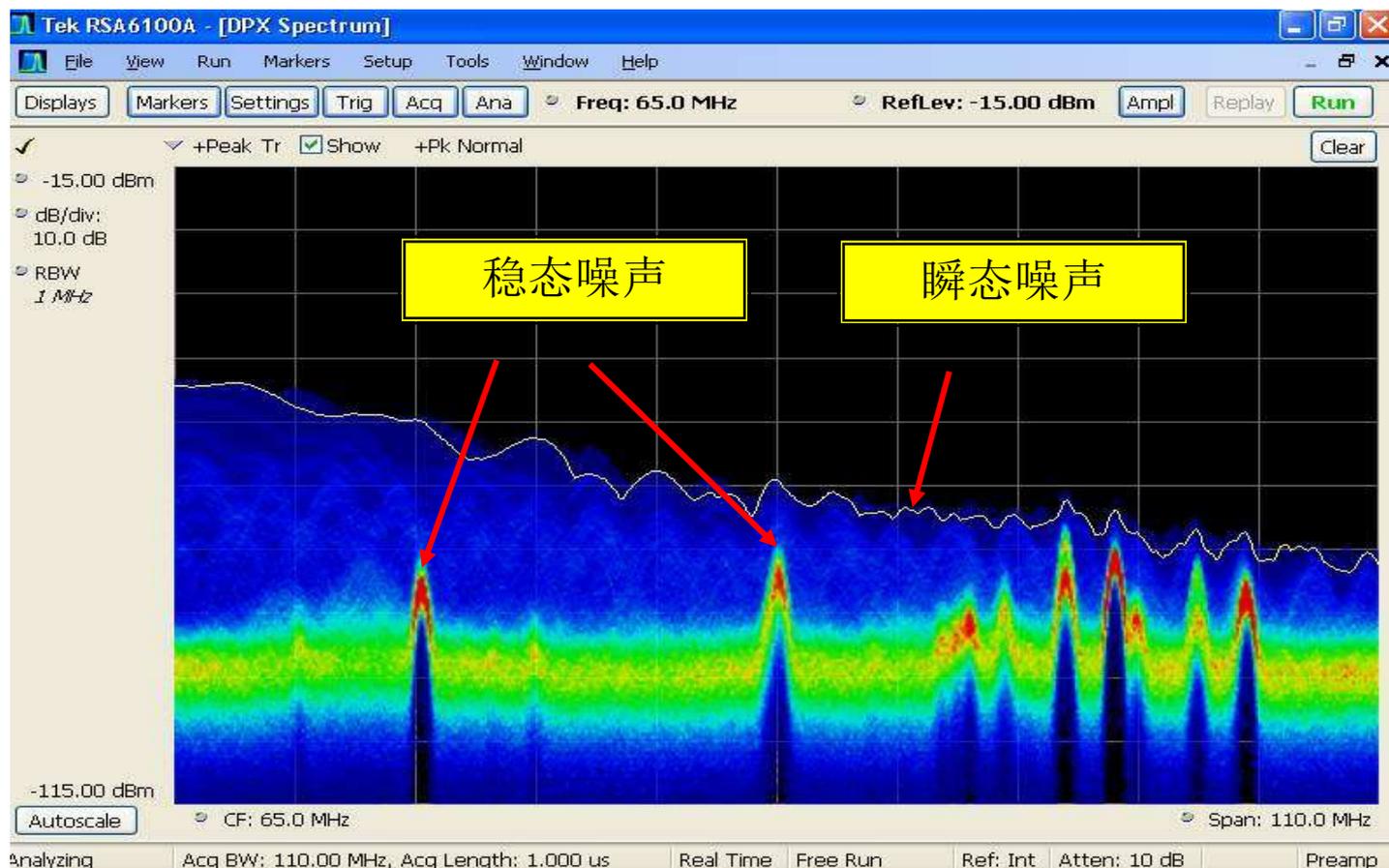
Reference: 2008 EMC-Noise Reduction Technology Exhibition Report

测试示例



实时频谱监控：发现EMI干扰和瞬态噪声

- 使用 **DPX** 技术在数秒种之内发现瞬态干扰/噪声！
示例：可即时发现被稳态噪声隐匿的开关噪声

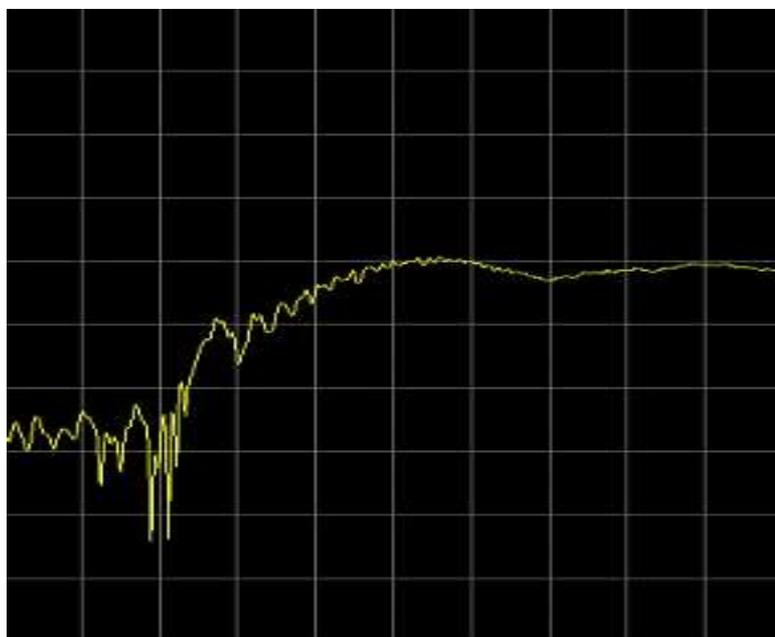


实时频谱监控：发现EMI干扰和瞬态噪声

常规EMI测试

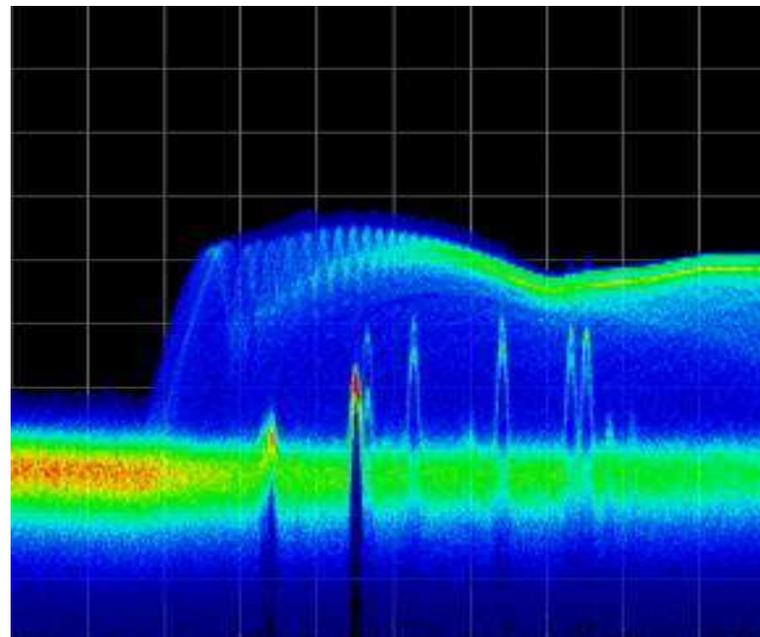
泰克实时模式EMI测试

竞争解决方案



没有问题

泰克实时频谱分析仪



同频的小信号干扰，有问题

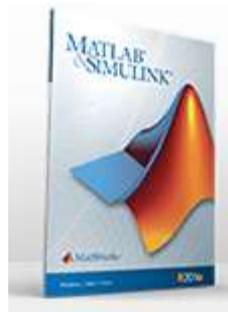
RSA5000系列实时信号分析仪

高性能实时频谱仪

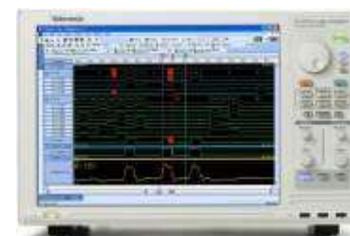
Specification	RSA5000
频率范围	1Hz ~ 3G, 6G, 15G, 26.5GHz
分析带宽	标配25MHz, 40/85/165 MHz可选
POI, 最短信号持续时间	3.7us (需申请出口许可)
无杂散动态范围 (SFDR)	-75dBc (BW=110MHz)
平均噪声电平 (DANL@2GHz)	-168dB/Hz, 预放大器开
相位噪声 (phase noise@1GHz)	-113 dBc/Hz at 10 kHz offset
内存	1GB / 4 GB
扫描DPX	全频段DPX扫描
频谱密度统计	自动统计信号密度
实时捕获	多种触发方法: FMT; 谱密度; 时间触发、频率沿触发等等
实时频谱监控	实时数字IQ输出, 配合成套磁盘阵列, 可完成长时间监控

波形回放

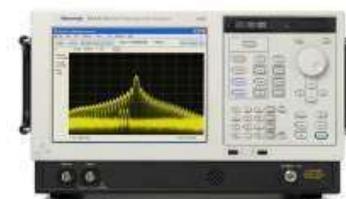
- 使用AWG模拟、回放和增强传感器信号，可重复强、效率高、用法灵活
- AWG支持几乎所有的通用波形采集设备和信号仿真平台



Oscilloscopes



Logic Analyzers



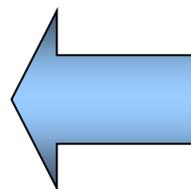
Real-Time Spectrum Analyzers



AWG70000

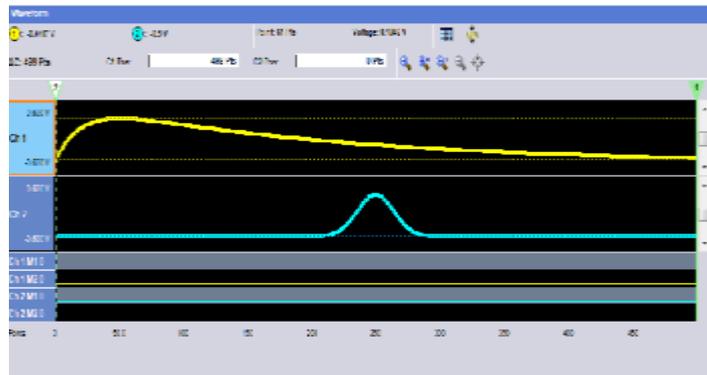


DUT



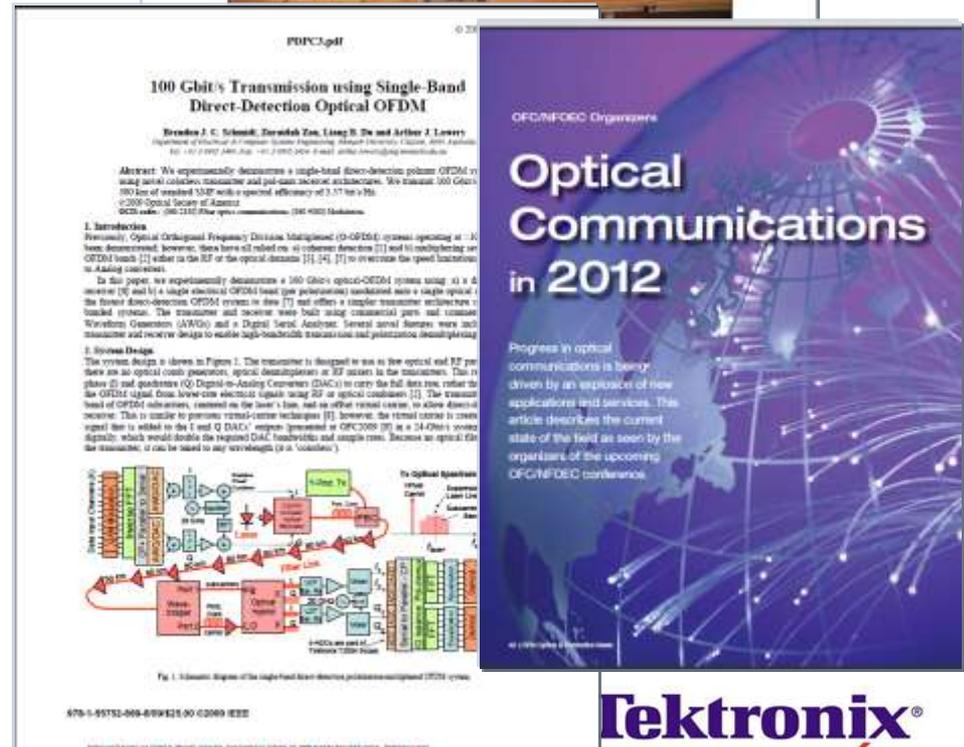
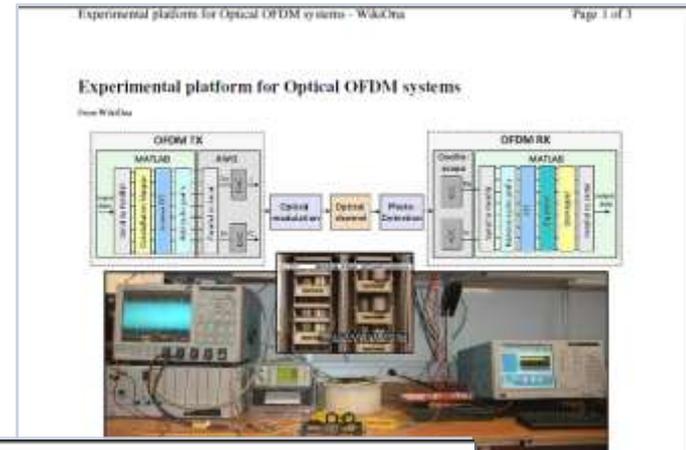
AWG功能简要列表

- 通用信号生成
- 高速脉冲信号
- 高速串行接收机测试
- 超宽带通信系统测试
- 快速跳频信号
- 雷达系统测试仿真
- OFDM系统测试（光和电）



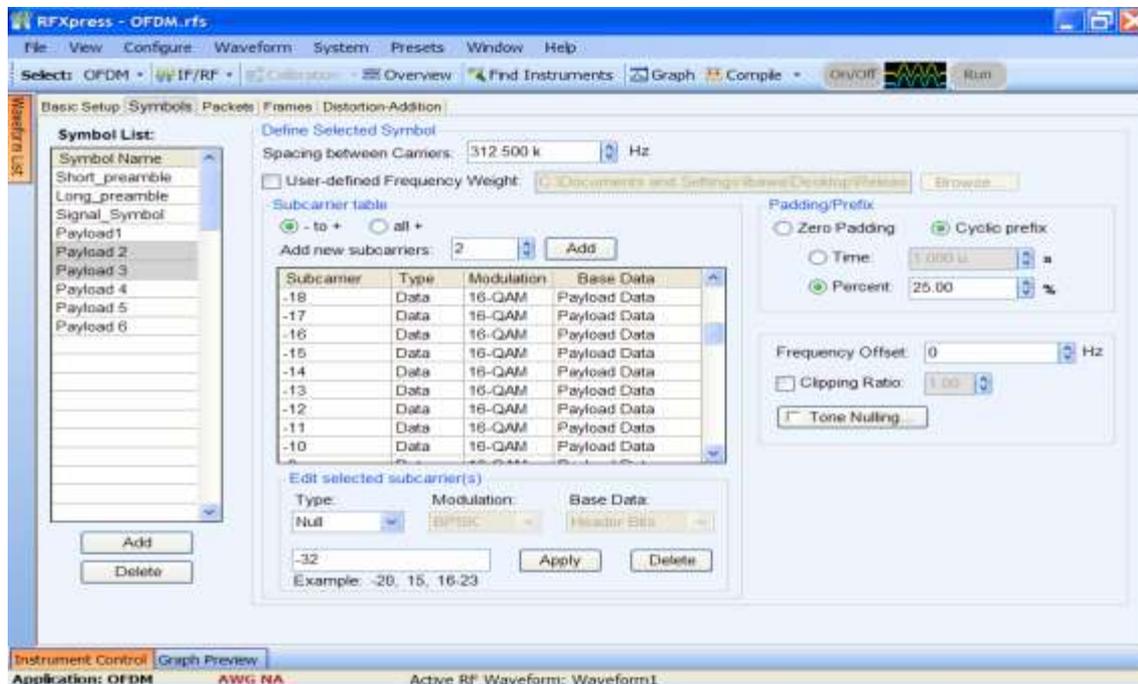
AWG7000: The baseband of industry research

- 业内广泛认可的高阶调制光通信研究信号源
- 泰克AWG7000/70K在几十篇OFDM和相干光应用论文上有应用记载
 - 100Gb/s, OFDM,..
- 多个重点实验室、重点高校和通信厂商在用AWG7000/70000研究



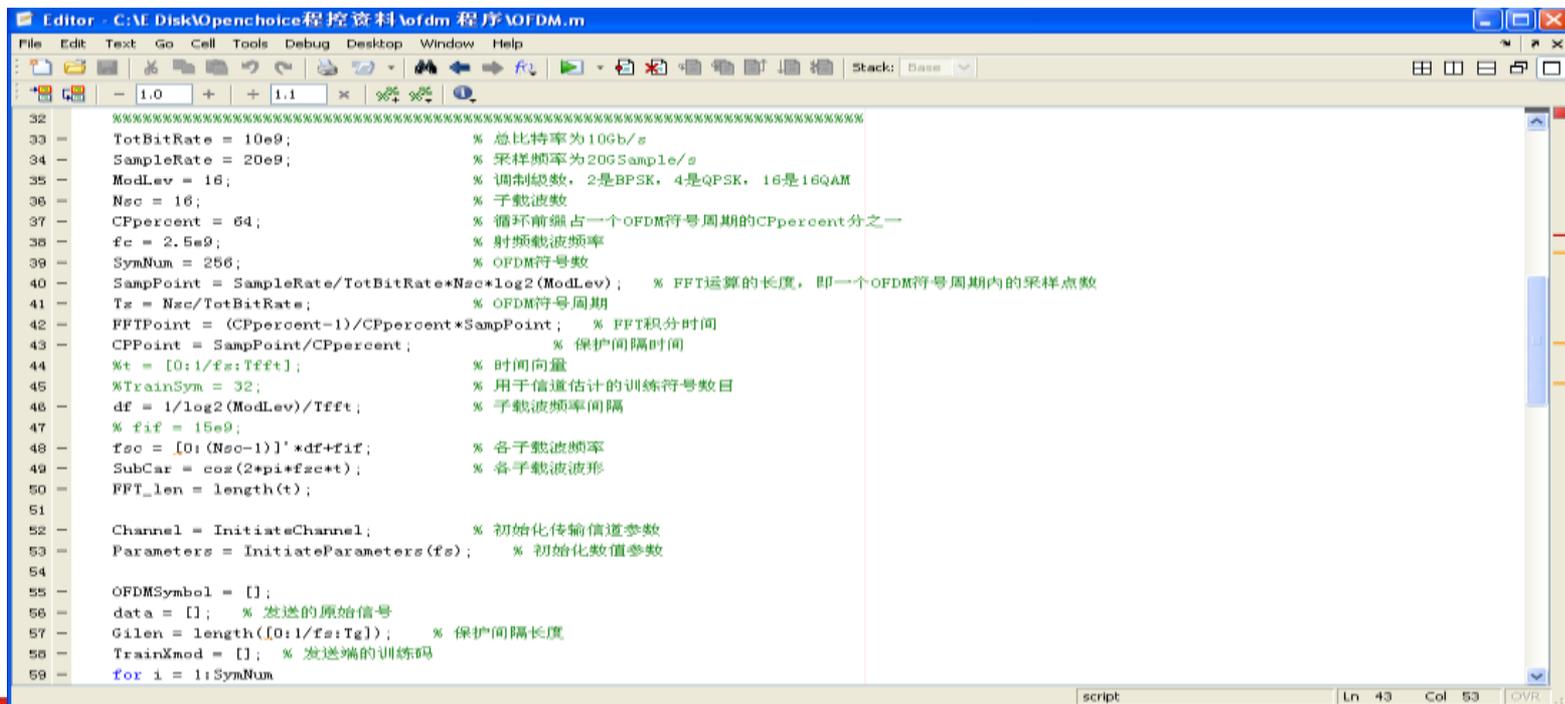
业内唯一的OFDM信号生成信号源AWG70000A+软件RFXpress

- RFXpress——基带、中频和射频信号生成软件
 - 可以设置OFDM的所有参数
 - 设置用户自己定义的数据-符号-数据包-数据帧
 - 支持RS(Reed-Solomon)编码、卷积和加扰
 - 可以在信号加入诸如相位噪声、多径或量化损伤
 - 支持多种子载波调制，包括各种BPSK, QPSK, QAM (16,32,64,256) and 8-PSK



AWG70000A + Matlab生成宽带OFDM信号

- AWG70000A和Matlab可以无缝连接,方便快捷地创建各种波形。
- 把Matlab装在AWG70000A系列仪器上或者安装在PC上.
- 利用Matlab仿真软件产生宽带OFDM电信号,然后利用AWG70000A把OFDM信号输出。



```
32 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
33 - TotBitRate = 10e9;           % 总比特率为10Gb/s
34 - SampleRate = 20e9;         % 采样频率为20G Sample/s
35 - ModLev = 16;              % 调制级数, 2是BPSK, 4是QPSK, 16是16QAM
36 - Nsc = 16;                % 子载波数
37 - CPpercent = 64;          % 循环前缀占一个OFDM符号周期的CPpercent分之一
38 - fc = 2.5e9;              % 射频载波频率
39 - SymNum = 256;           % OFDM符号数
40 - SampPoint = SampleRate/TotBitRate*Nsc*log2(ModLev); % FFT运算的长度, 即一个OFDM符号周期内的采样点数
41 - Tx = Nsc/TotBitRate;     % OFDM符号周期
42 - FFTPoint = (CPpercent-1)/CPpercent*SampPoint; % FFT积分时间
43 - CPPoint = SampPoint/CPpercent; % 保护间隔时间
44 - %t = [0:1/fs:Tfft];      % 时间向量
45 - %TrainSym = 32;          % 用于信道估计的训练符号数目
46 - df = 1/log2(ModLev)/Tfft; % 子载波频率间隔
47 - % fcf = 15e9;
48 - fcc = [0:(Nsc-1)]'*df+fc; % 各子载波频率
49 - SubCar = cos(2*pi*fcc*t); % 各子载波波形
50 - FFT_len = length(t);
51
52 - Channel = InitiateChannel; % 初始化传输信道参数
53 - Parameters = InitiateParameters(fc); % 初始化数值参数
54
55 - OFDMSymbol = [];
56 - data = []; % 发送的原始信号
57 - Gilen = length([0:1/fs:Tg]); % 保护间隔长度
58 - TrainXmod = []; % 发送端的训练码
59 - for i = 1:SymNum
```

AWG70000系列任意波形发生器

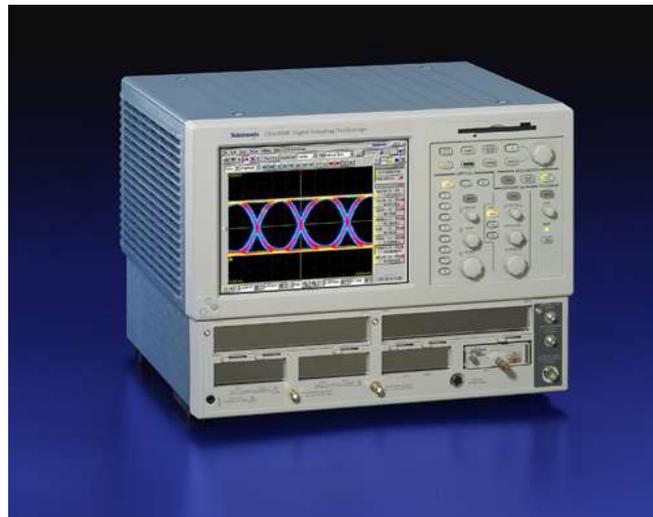


项目	AWG70001	AWG70002
采样率	1.5KS/s to 50 GS/s	1.5KS/s to 25 GS/s
最大输出频率	20.0 GHz	10.0 GHz
带宽	14 GHz	12 ~14 GHz
上升时间	< 27	22ps
无杂散动态范围	大于80 dBc	大于80 dBc
DAC 分辨率	10 bits	10 bits
存储长度	标配2G Samples 最高16G Samples	标配128 M Samples 最高8G Samples

光通信信号用采样示波器通常需要完成什么测试？

核心测试

- 眼图测试
- 抖动测试
- 幅度域
 - 平均光功率 (AOP)
 - 消光比 (ER)
 - 光调制幅度 (OMA)
 - 眼图模板
 - 上升、下降时间
 - Overshoot/undershoot
 - Jitter抖动
 - Mask hit
 - Crossing ratio等



光接收机需要 4th Bessel-Thomson滤波器

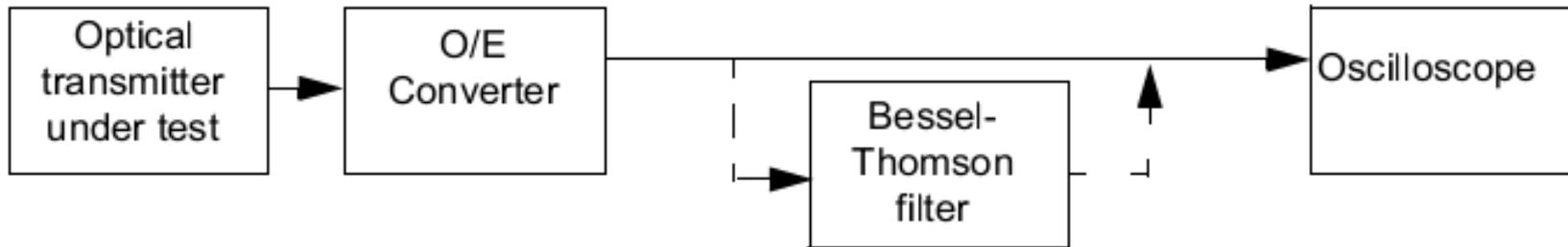


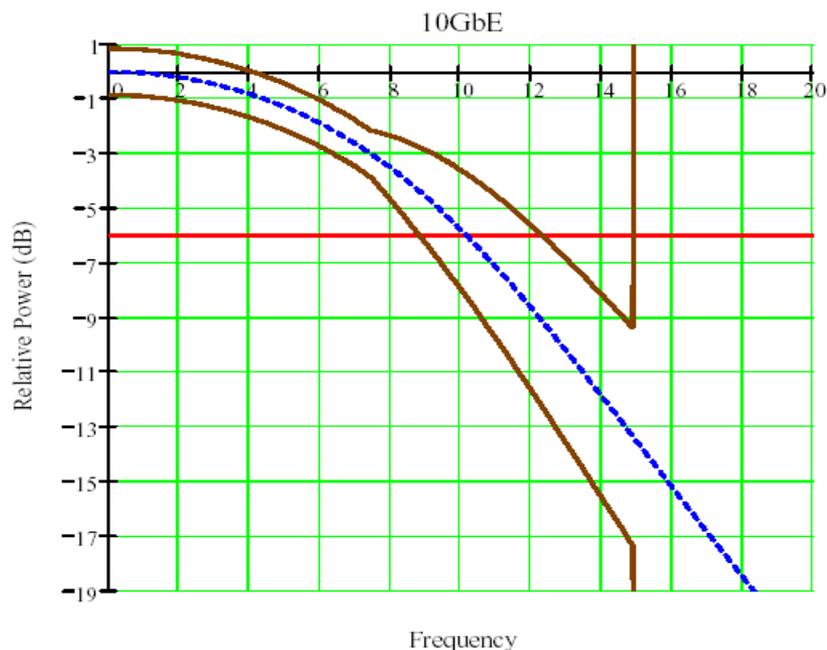
Figure 2.1 - Optical modulation amplitude test equipment configuration

$$H_P = \frac{105}{105 + 105y + 45y^2 + 10y^3 + y^4}$$
$$y = 2.114p$$
$$p = j\omega / \omega_r$$
$$\omega = 2\pi f$$

光接口物理层测试：对滤波器的要求

测试眼图模板时，需要使用**Optical Reference Receiver** 光参考接收器 (O/E + Filter)，信号首先经光电转换，然后经**4th Order Bessel-Thomson** 滤波器过滤，按业界规范要求，此滤波器的带宽要是被测信号速率的**0.75倍**

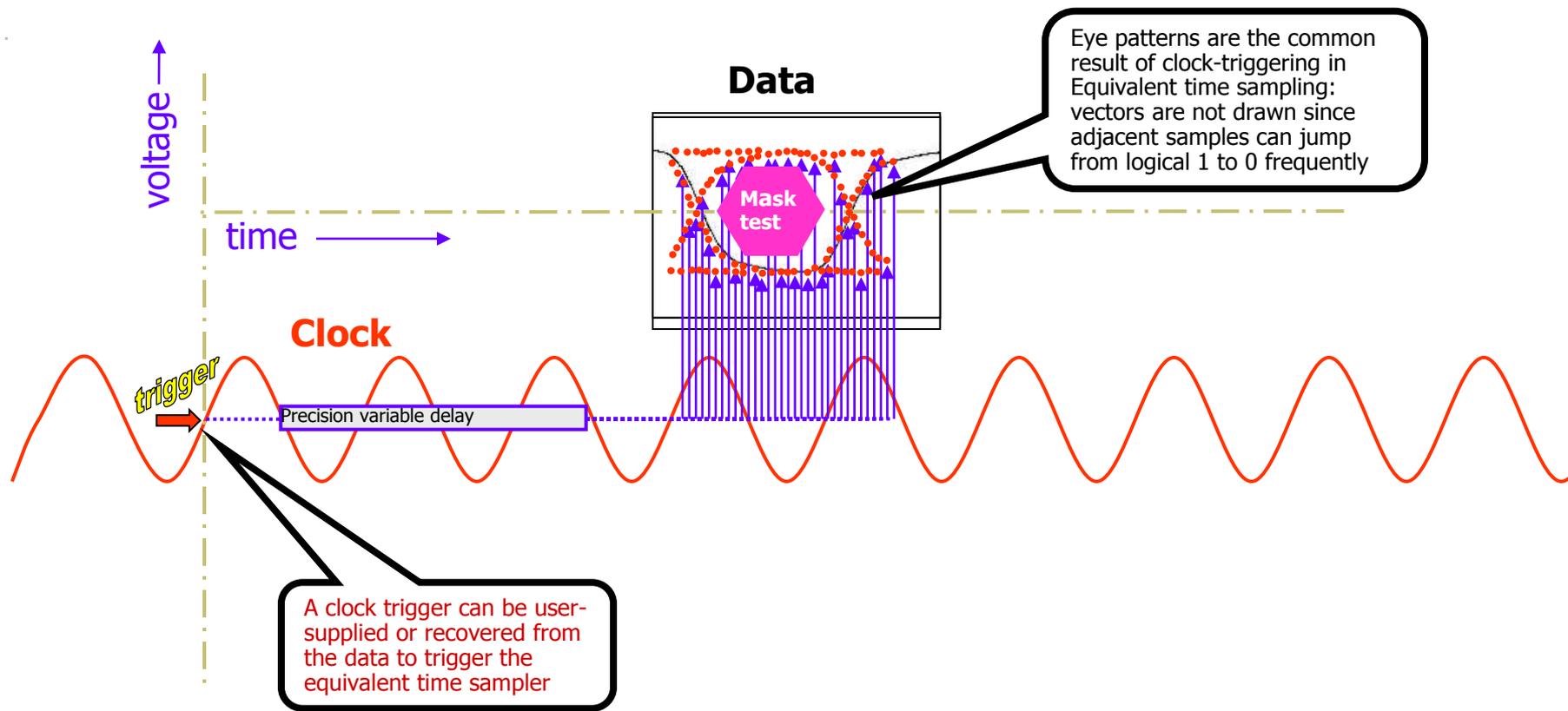
业界测试光接口 所使用的4th Order Bessel-Thomson 滤波器的频响如下：



不一样的速率，有不一样的滤波器要求

采样示波器采样原理:

需要同步触发信号, 多次触发完成捕获



• When a clock signal is used to trigger the equivalent-time 8200 scope the sampled DATA signals generally create EYE PATTERNS (between clock triggers the sampled DATA could be either a logical 1 or 0)

泰克采样示波器的特点

➤ 高采样速率

泰克DSA8300示波器采样速率高达300KHz

➤ 高垂直电压分辨率

泰克DSA8300示波器的ADC分辨率为16bit，业内最高

➤ 低触发动抖

泰克DSA8300触发动抖低至70fs

➤ 高灵敏度

泰克光模块灵敏度可以达到-22dB

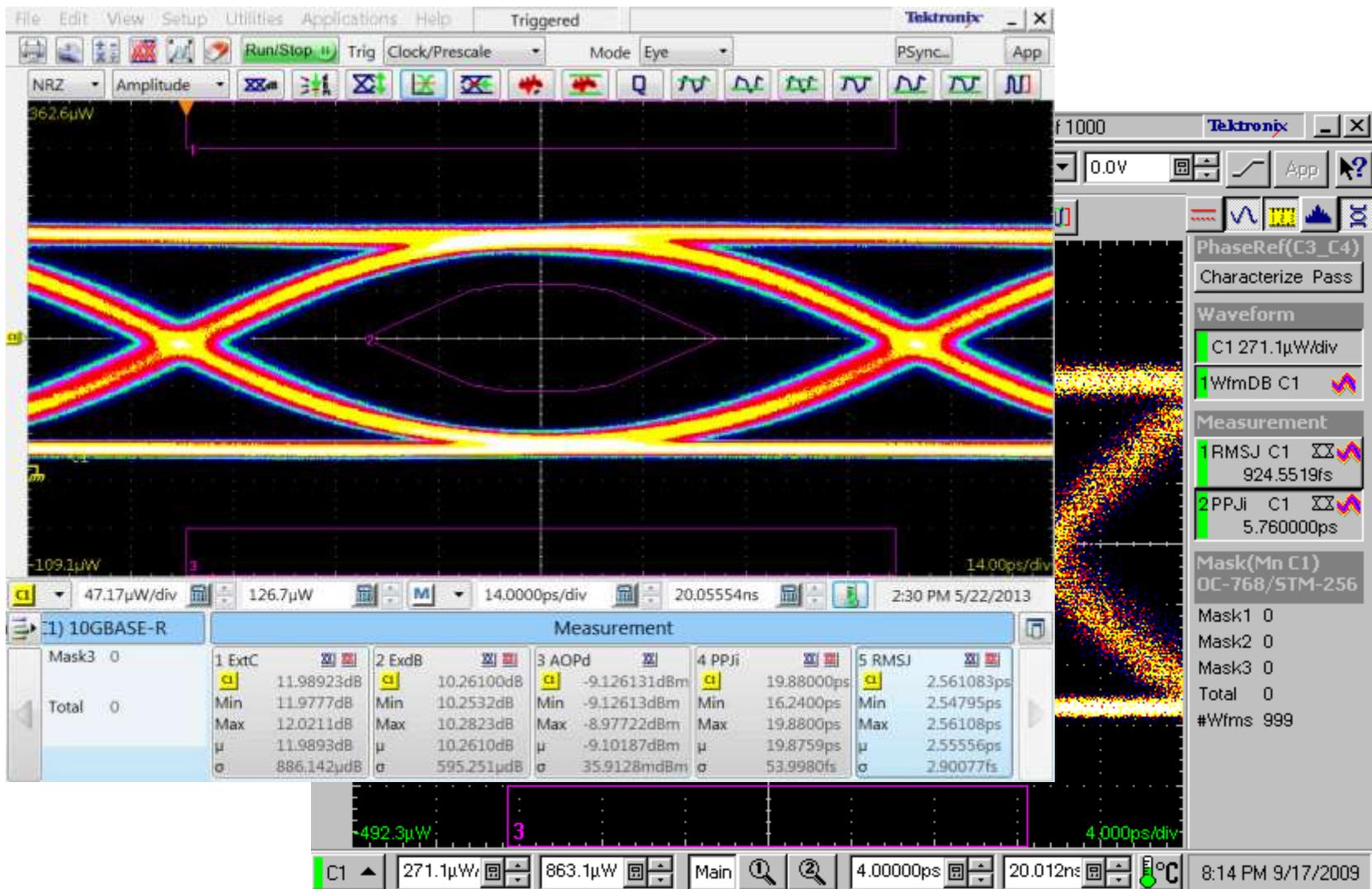
➤ 大的信号接收范围

泰克光模块通常信号接受范围在2mw以内

➤ 完备的以太网全套方案

泰克以太网测试方案支持10M到128G的各种标准

光通信中的性能参数：OMA与ER等



您关心什么？

■ 测试中，您通常关心哪些？



连接是否方便
？

- 一台主机、一个模块
- 一根光纤接入信号

测试速度快慢
？

- 300KS/s采样速率，比同类50KHz的速率快了6倍

测试精度如何
？

- 业内最好的16位AD
- 良好的测试灵敏度

可重复性如何
？

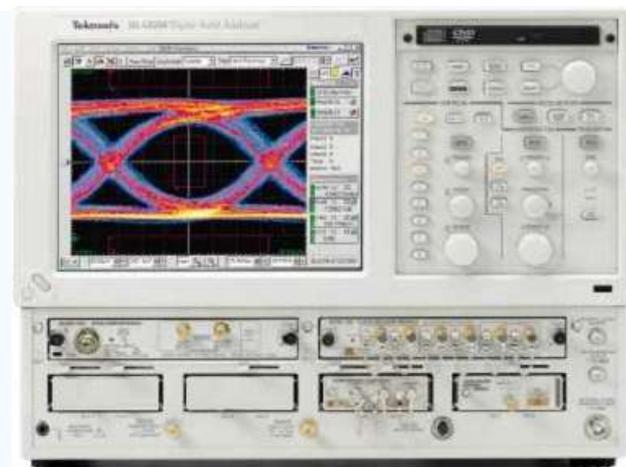
- 提供业内唯一的ER校准保真
- 有口皆碑的重复性好

100Mb ~ 40Gb 光通讯信号眼图测试: one for all

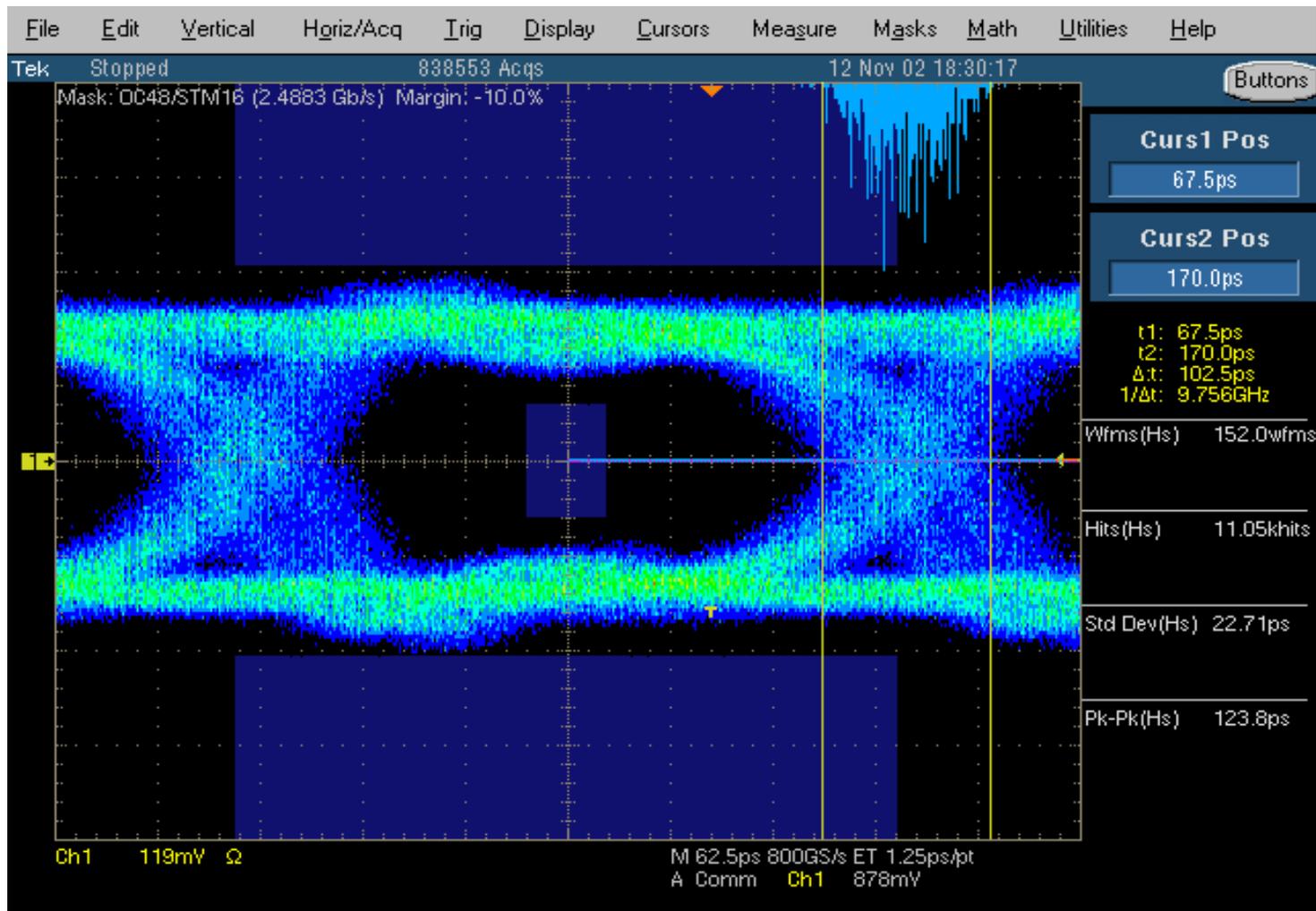
泰克 DSA8300 Opt. ADJ/JNB
+ 80C12B
+ 80C10C-F1
+ CR125A
+ 82A04B

业内独一无二的解决方案:

- 所有参考滤波器支持: 从 155Mb/s 一直到 40Gb/s 的单路光信号
- 完美的可重复性和最佳灵敏度
- 6通道模块支持: 无需更换插拔模块
- 单模到 40Gbps, 多模可达 25Gbps
- 超稳的时基 70 fs_{RMS} 稳定度
- 采集速度比同类快四倍以上
- 支持热插拔, 减少热机时间
- Jitter, Noise, and BER 分析
- 可选差分/单端 70GHz 带宽电模块



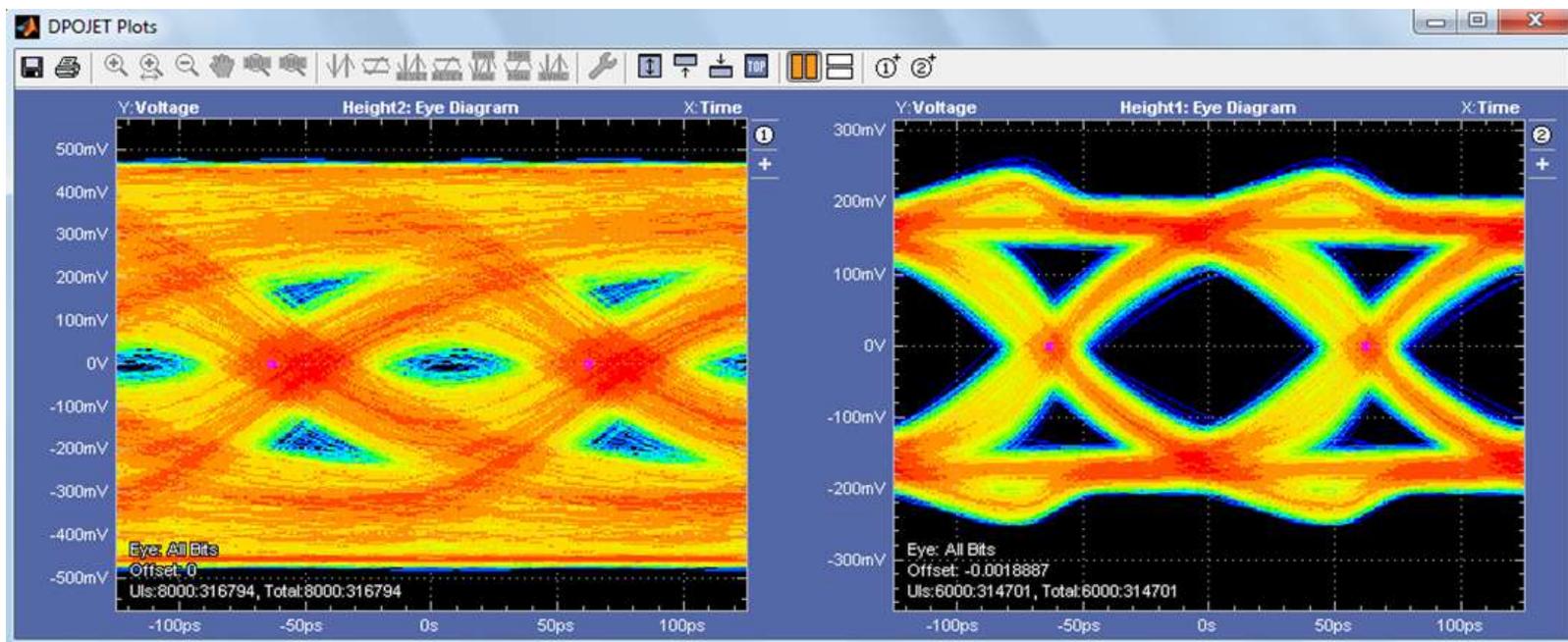
系统参数验证依据：眼图和抖动



Equalizer: open closed eye

均衡在靠接受端眼图测试上的实效

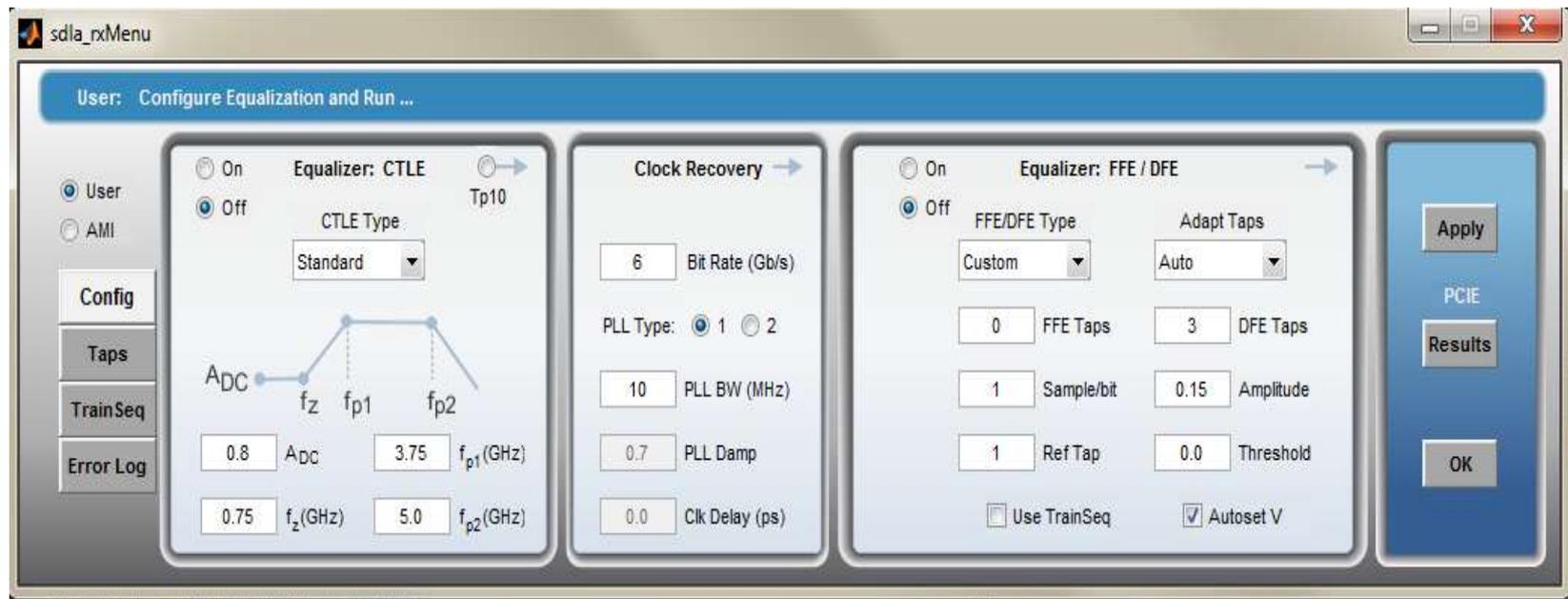
- 下图为PCIE Gen3在远端测得的眼图，速率8Gbps
 - 注意当损耗和抖动造成幅度减少很厉害时候，可能时钟无法正常恢复
 - 经过算法进行DFE均衡后，衰减的高频分量得到补偿，眼图从而被撑开



Equalizer: open closed eye

均衡在靠接受端眼图测试上的实效

- 下图为DPO示波器上PCIE Gen3在远端测得的眼图，速率8Gbps
 - 注意当损耗和抖动造成幅度减少很厉害时候，可能时钟无法正常恢复
 - 经过算法进行DFE均衡后，衰减的高频分量得到补偿，眼图从而被撑开

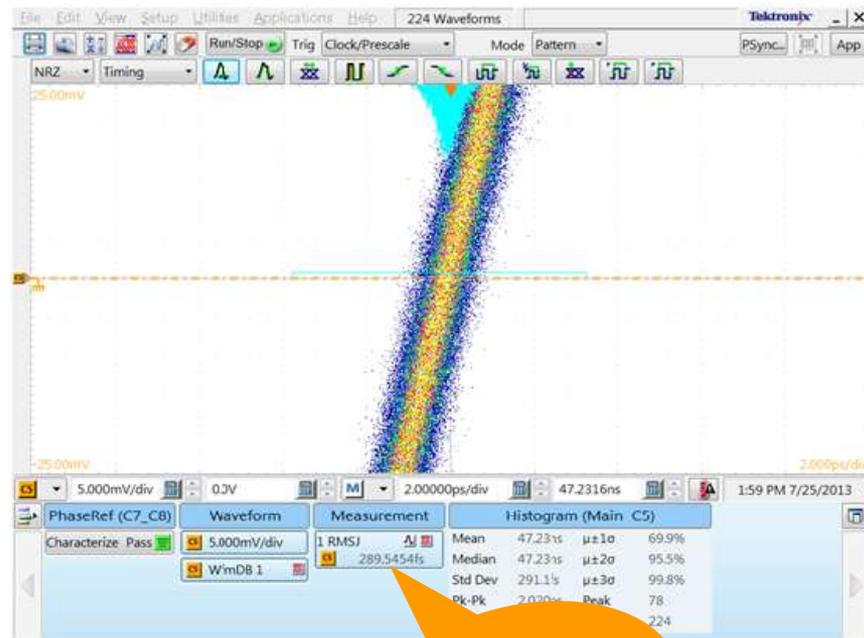


Equalizer: open closed eye

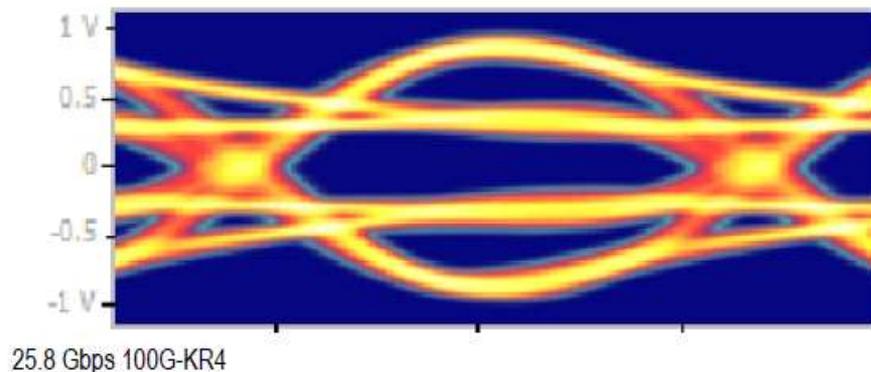
均衡在靠接受端眼图测试上



- LE320可支持到32Gbps信号的接受
- 多级数提供，完成发送端的预加重
- 可以接受S参数得到的反嵌文件，从而实现
对通道的去嵌.
- 独立界面，USB口方便控制调节参数
- 小巧灵活，方便与其他各种仪器如采样示波
器和误码仪搭配使用

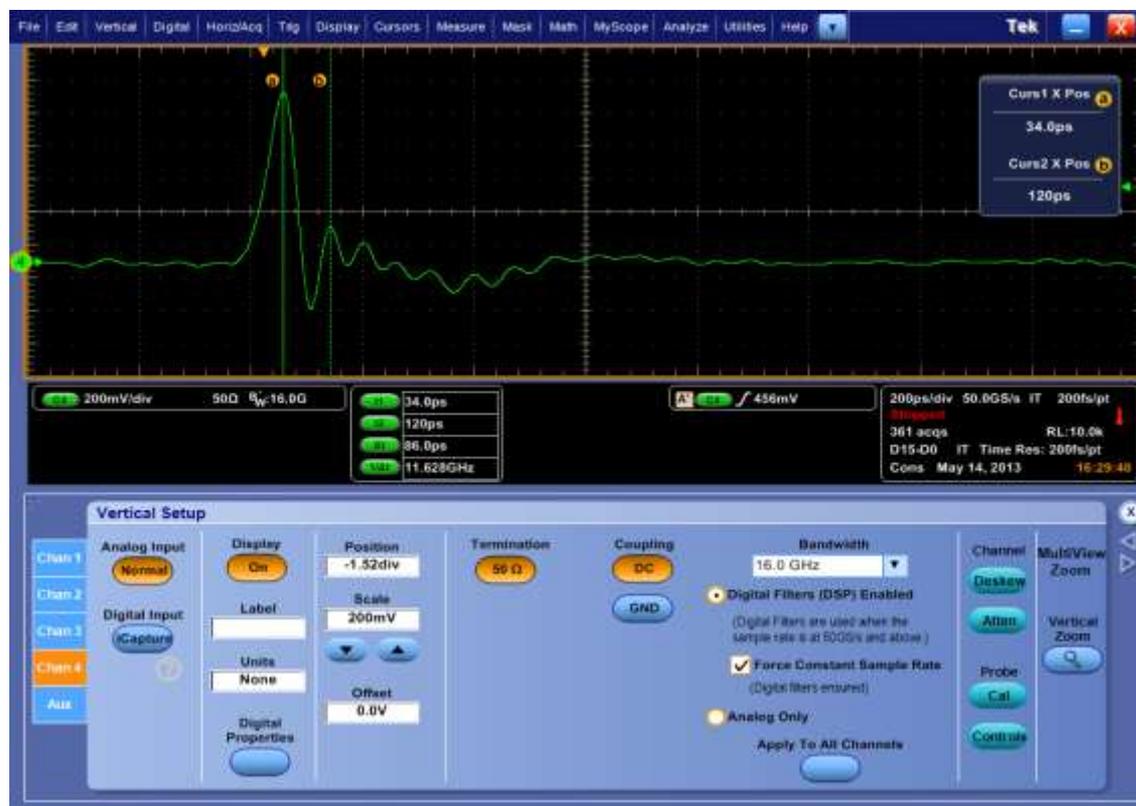


超低抖动
动噪底

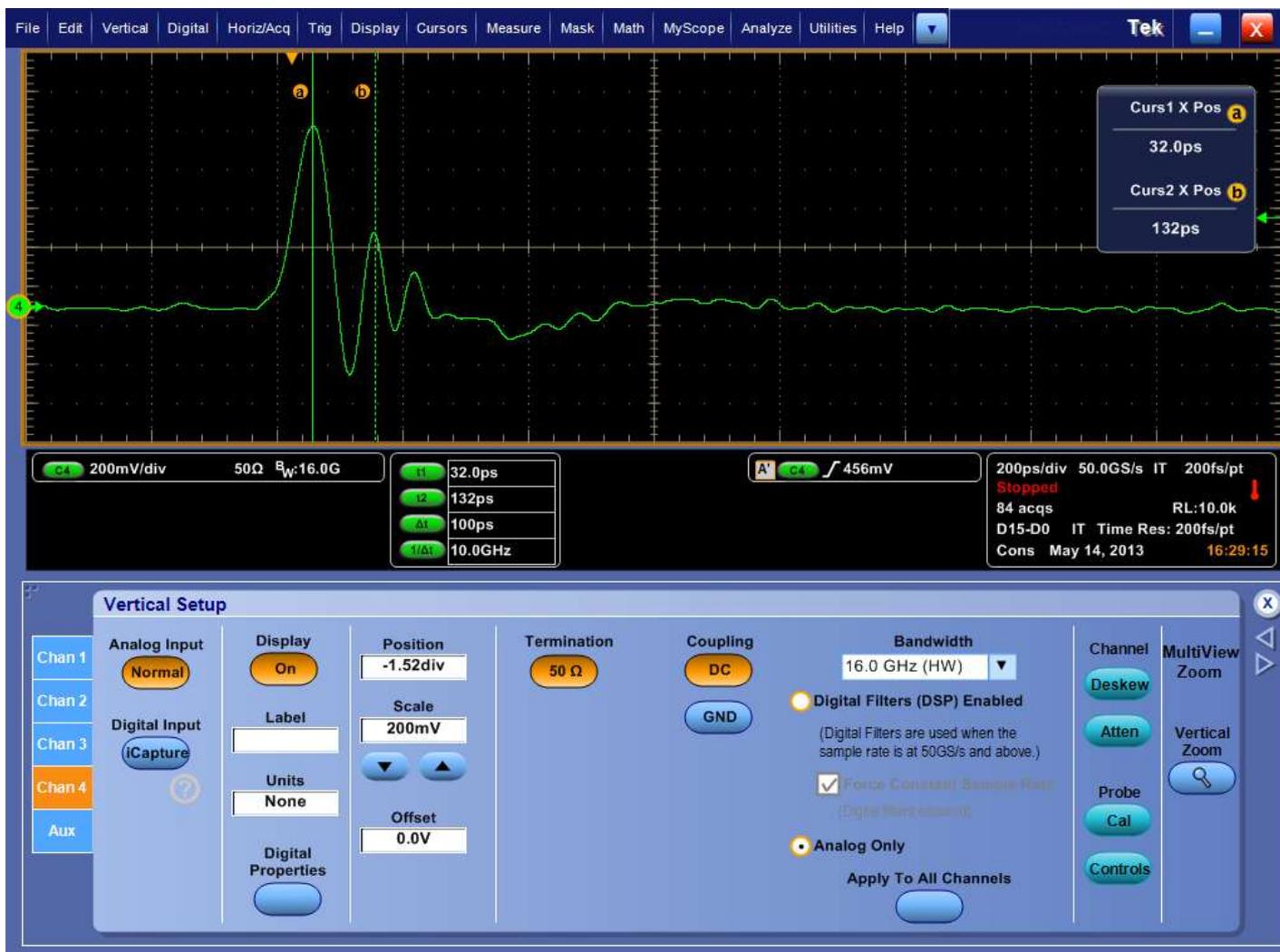


光器件研究： 快沿脉冲采集

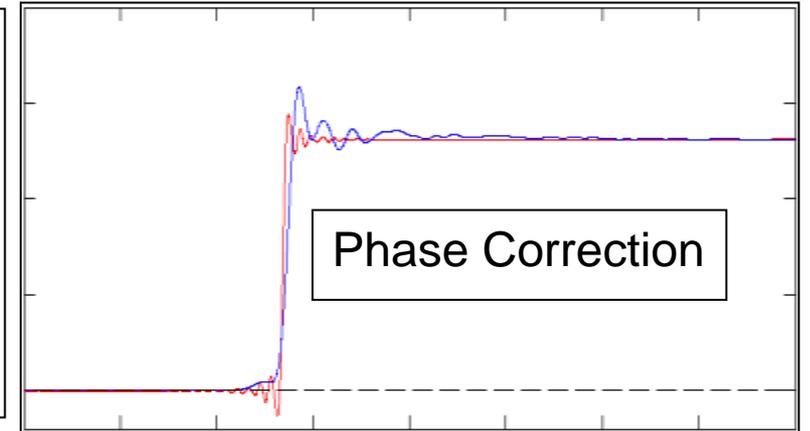
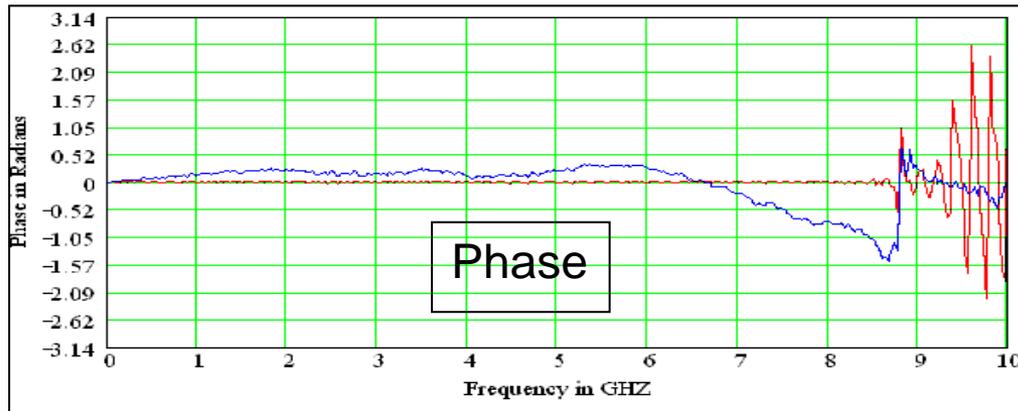
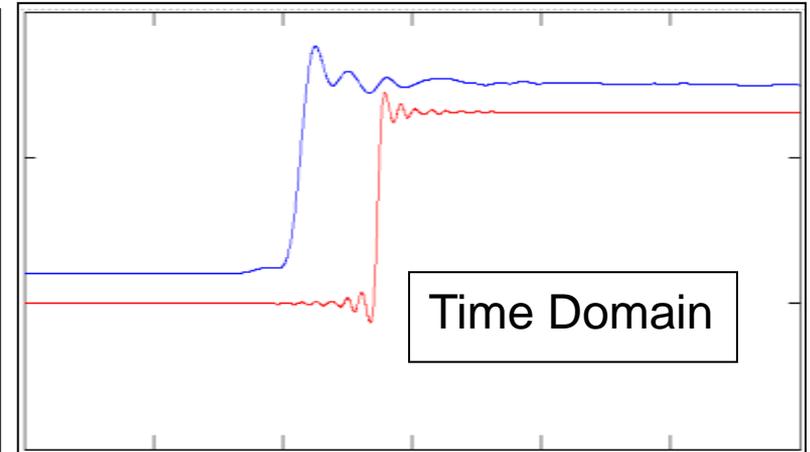
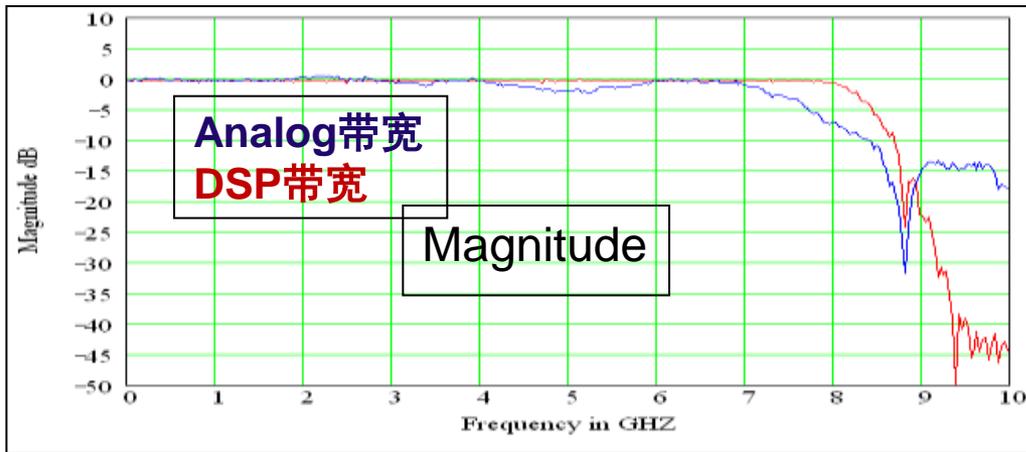
- 对于普通高速信号和通用信号量测，示波器DSP和HW带宽基本上没有任何影响，测试结果都是可以的
- 对于快沿的单脉冲，比如几十个ps的脉冲，会有些差异：



DSP 带宽(DSP Bandwidth) VS Analog 带宽(HW BW)

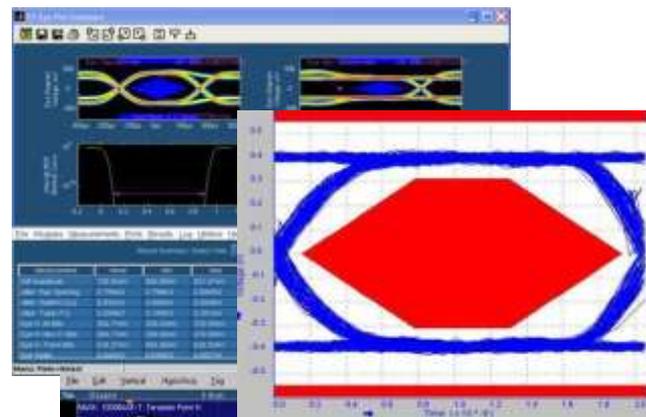


DSP带宽(DSP Bandwidth) VS Analog带宽(HW BW)



最佳洞察力 串行数据：全面的一致性测试

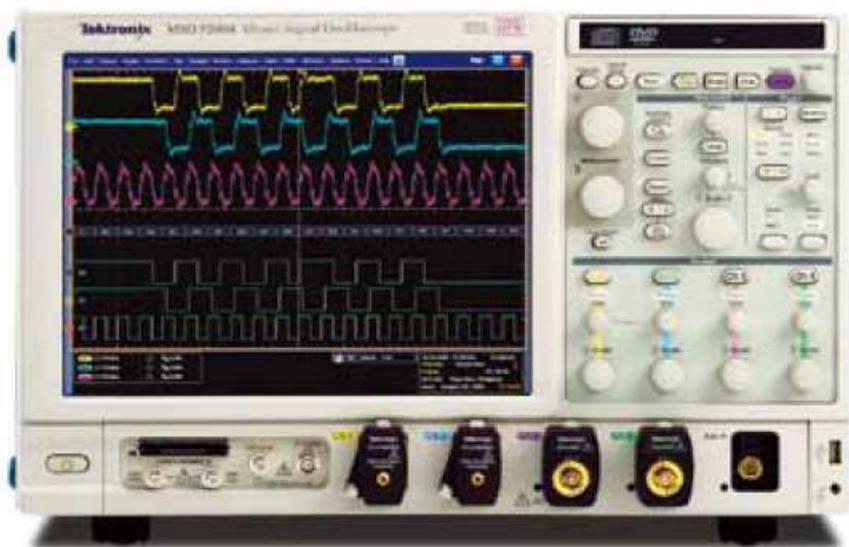
- 泰克一致性测试软件支持多种高速串行标准
 - USB1.0, 2.0, 3.0, 3.1
 - HDMI 1.3, 1.4, 2.0
 - DisplayPort 1.2
 - MIPI (D-phy, M-phy and etc)
 - DVI
 - WiMedia一致性测试
 - 10/100/1000/10GBase T以太网一致性测试
 - PCI Express一致性测试模块
 - InfiniBand一致性测试模块
 - FB-DIMM一致性测试模块
 - SATA分析模块
 - SAS 12G分析模块
 - Fibre Channel模板和极限
 - XAUI (10GbE CX-4)模板和极限
 - 串行快速I/O模板和极限
 - DDR3/DDR4 分析和解码
- 串行数据链路分析
 - 均衡，通道，发射机



对应各种标准的示波器带宽推荐

高速应用标准	数据率	推荐示波器带宽	泰克对应示波器型号
100 GbE	4 X 28-32 Gb/sec	19-23 GHz on 4 ch	DPO73304D
DisplayPort 1.1	2.7 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
DisplayPort 1.2	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
Fibre Channel 16G	16 Gb/sec	25 GHz	DPO72504D
HDMI 1.4	3.4 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
Infiniband 14G	14 Gb/sec	22 GHz	DPO72504D
MIPI D-PHY	1 Gb/sec	3.5 GHz	DPO7354C
MIPI M-PHY HS Gear 1	1.5 Gb/sec	6 GHz	DPO70604C
MIPI M-PHY HS Gear 2	3 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
MIPI M-PHY HS Gear 3	6 Gb/sec	20 GHz	DPO72004C
PCI Express 1.0	2.5 Gb/sec	6 GHz	DPO70604C
PCI Express 2.0	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
PCI Express 3.0	8 Gb/sec	16 GHz	DPO71604C
PCI Express 4.0	16 Gb/sec	32 GHz	DPO73304D
SAS 6G	6 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
SATA III	6 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
Thunderbolt	10 Gb/sec	33 GHz for Si Design 20 GHz for System Design	DPO73304D DPO20004C
USB 2.0	480 Mb/sec	2.5 GHz	DPO7254C
USB 3.0	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C

MSO/DPO70000C/DX系列高性能示波器



产品特点

- 4 - 33 GHz 真正模拟带宽，根据最新高速串行标准执行测量
- 在 2 条通道上提供行业领先的 100 GS/s 采样率
- 16 条逻辑通道，80 ps 定时分辨率，调试数字信号和模拟信号 (MSO70000 型号)
- iCapture- 通过一条连接，同时支持模拟信号和数字信号 (MSO70000 型号)
- 高达 >300,000 wfms/s，最快速的波形捕获速率
- 高达 1G 点记录长度，支持 MultiView Zoom™，快速浏览数据
- 可视触发，精确判定触发，在复杂波形中查找独特事件

MSO/DPO70000C 系列和 DX 系列

不管您是第一次最新设计通电，还是检验满足最快速标准，或是研究宇宙的基本原理，您都可以获得所需的性能、精度和工具，更快地完成工作。



近 50 种特定应用解决方案，执行特定标准认证、自动测量和扩展信号分析。

DPO/MSO70000 DX高性能混合信号示波器

业内领先的配有高性能数字通道的实时示波器

▪33G模拟带宽

▪超低底噪声

▪< 1mv rms低噪声

▪16 数字通道

连同4个模拟通道组成的采集系统

▪Event Qualified Triggering

隔离定位偶发的故障

▪新数字逻辑探头

提供高信号保证度以及最小的负载

▪12.5GS/s 数字通道采样率

▪100GS/s 模拟通道采样率

▪深存储

▪1G模拟通道存储深度

iCapture™ 同时进行模拟数字时间相关调试

集成了并行总线、I2C、SPI解码功能



P7600系列超低噪声探头

业内最高带宽
33G探头

P76CA-292C

2.92mm Coaxial Adapter with Cables

P76CA-SMP

SMP Coaxial Adapter with Cables

P76CA-292

2.92mm Coaxial Adapter

P76TA

P7500 Tip Adapter

MSO/DPO70000C/DX系列高性能示波器

软件包

串行总线触发和协议分析

SR-AERO MIL-STD-1553B

SR-AUTO CAN/LIN/FlexRay

SR-COMP 计算机 (RS-232)

SR-DPHY MIPI D-PHY

SR-EMBD 嵌入式系统 (I²C, SPI)

SR-ENET 10/100Base-T 以太网

SR-PCIE PCI Express

SR-USB USB 2.0 (LS, FS, HS)

一致性测试

DisplayPort, 以太网, HDMI, HSIC, MDL, MIPI D-PHY/M-PHY, QPI, SATA/SAS, SFP+, Thunderbolt, MOST50/150, USB 2.0/USB 3.0, 10GBASE-KR/KR4

其它分析

MTH 通信模板测试

DDRA DDR 内存

DJA 高级抖动和眼图

PWR 电源分析

SVE SignalVu RF 分析

VET 可视触发 / 搜索

推荐探头

P7630 30 GHz, 低噪声

P7500 4 GHz – 25 GHz

P6780 差分输入数字探头 (MSO 型号)

P6750 D-MAX Technology 数字探头
(MSO 型号)

P6717A 通用数字探头 (MSO 型号)

P6250/
P6251 500 MHz/1 GHz 42 V 差分探头

TCPA300/
TCPA400 电流测量系统系列

误码仪：系统验证的利器

泰克Bertscope：针对计算机系统和通信串行数据的应用而设计，同时集成误码仪和示波器的仪器。

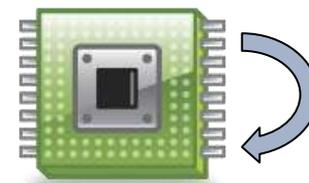
- 1 Pattern Generator产生特定的比特码流，例如. PRBS 码型；信号可以被施加压力




从带压力的Pattern Generator输出



loopback



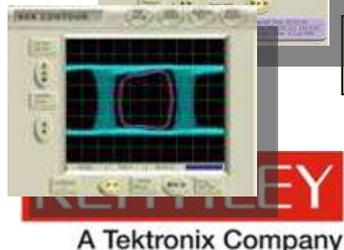
到 Error Detector

被测芯片/被测系统
有源/无源



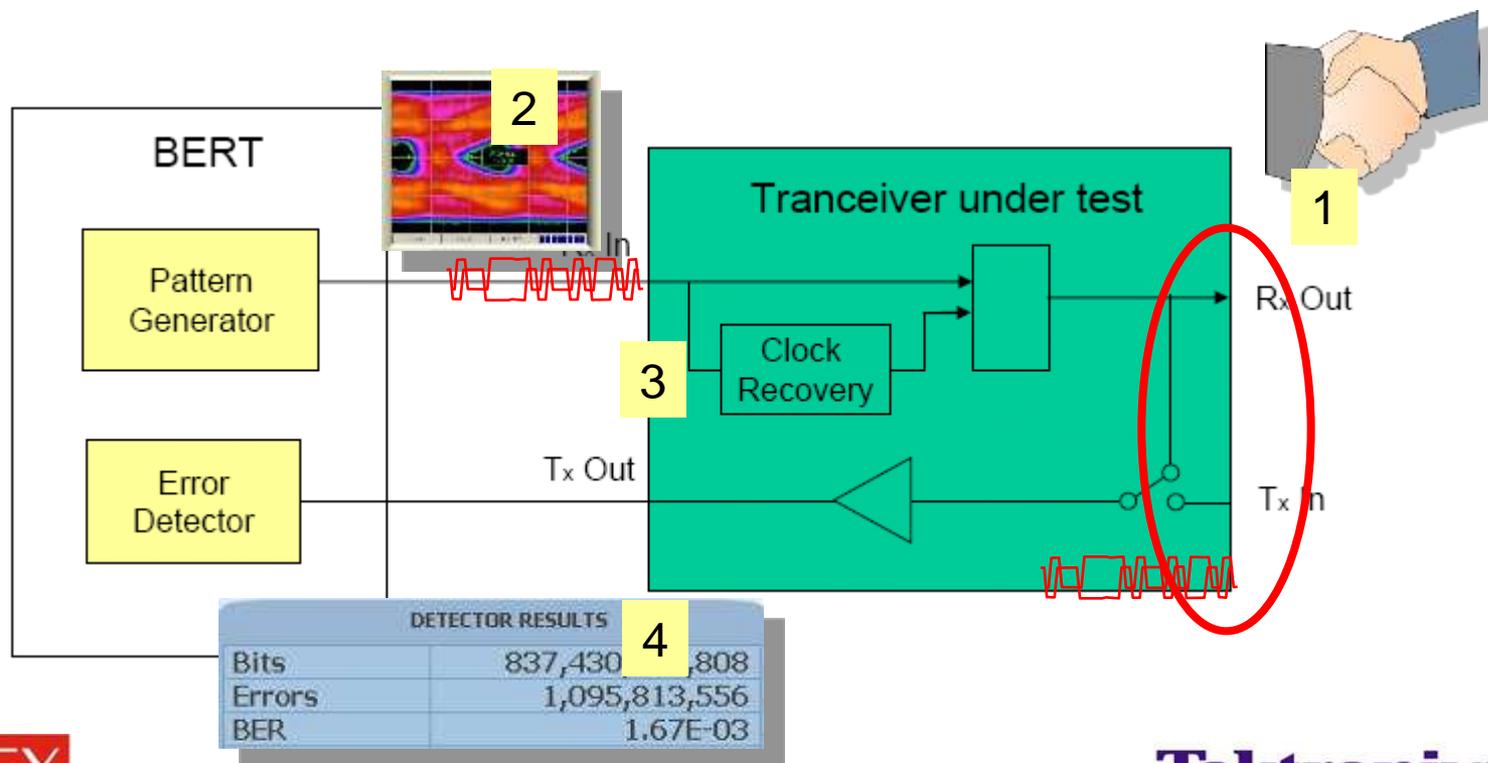
- 2 比特码流从DUT输出到Error Detector比较以进行BER测量

- 3 进行BER测试，也能像示波器一样进行分析



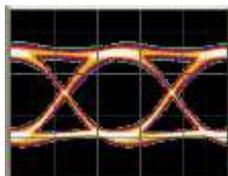
各种高速串行总线对Rx接收端测试的要求

1. 设置DUT进入Loopback模式(Analog/Re-timing)
2. 产生规范要求的抖动分量，在不同的频点上分别产生相应的抖动量
3. 将stressed信号注入DUT Rx
4. 统计DUT Tx端发出的信号的误码率是否达到要求

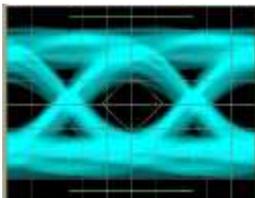


主要内容测试

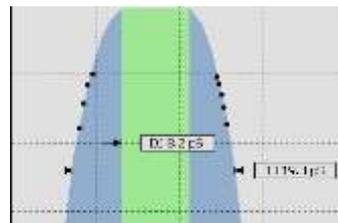
- 眼图



- 模板测试



- 抖动测量、浴盆曲线

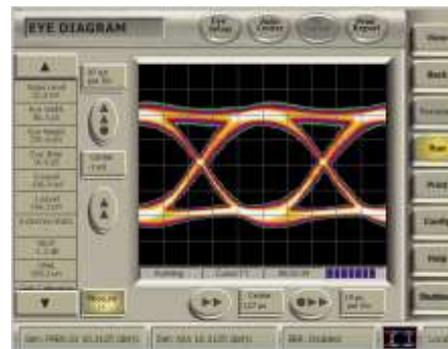


- 抖动分离

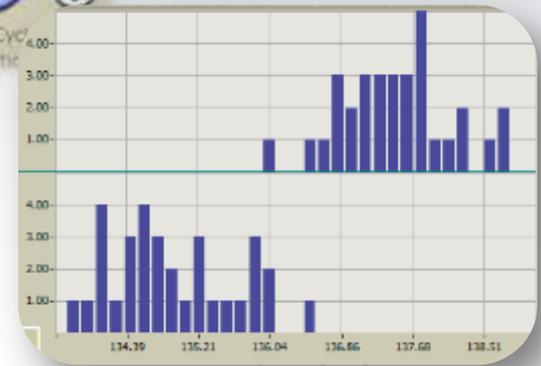
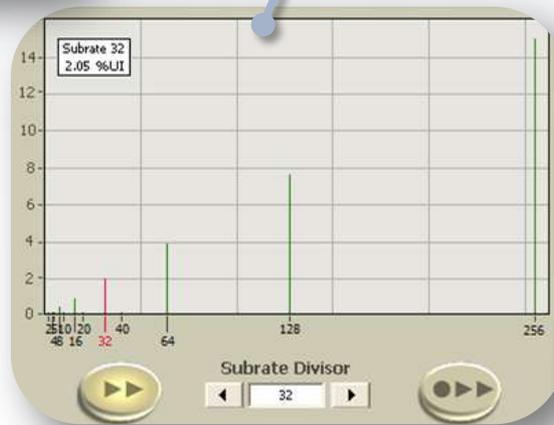
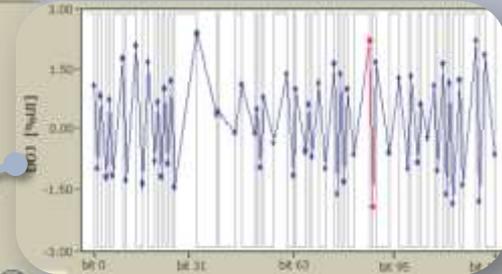
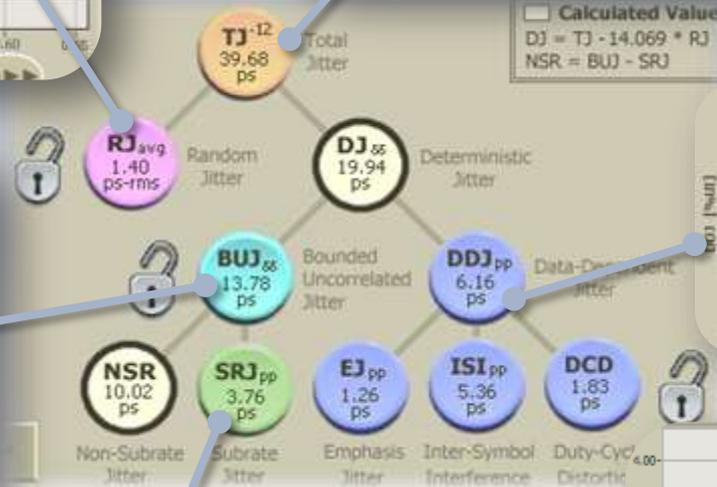
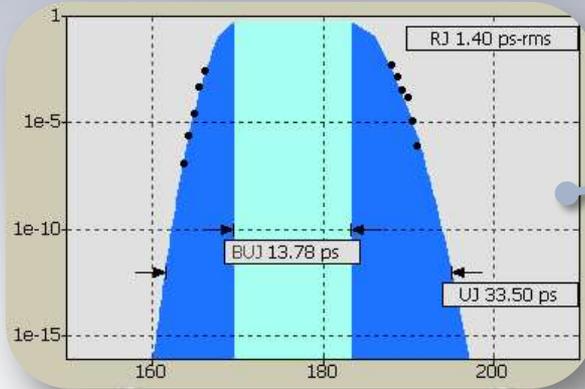
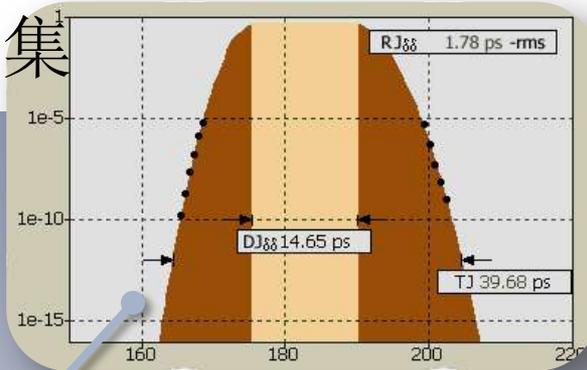
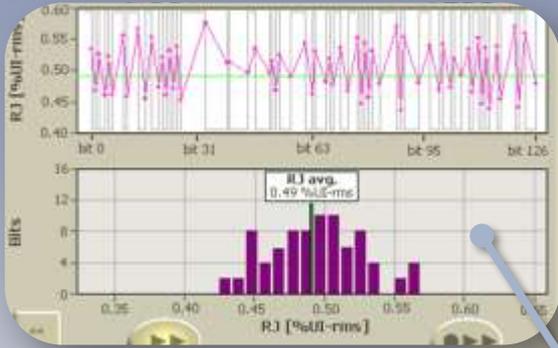
- 自动参数测量

Knob: Pan X	Thresh: 16 mV	Elapsed Time: 00:00:20
Status: Ready	BER Measure Depth: 1.18E-09	Total Jitter(1E-12): 19.3 pS
Optimum Delay: 399 pS	Determ. Jitter: 8.2 pS	Random Jitter: 0.8 pS RMS

- 误码定位分析

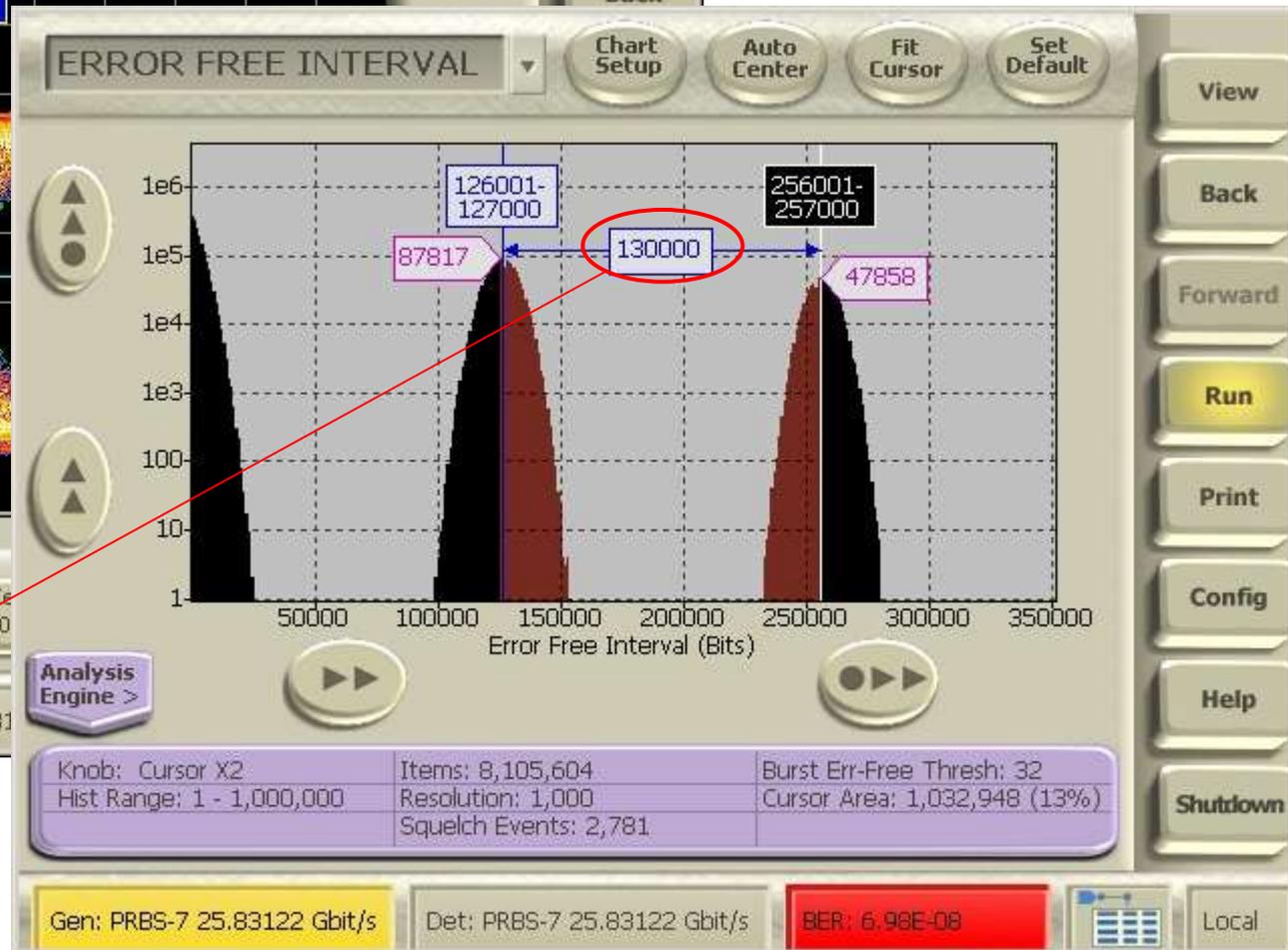
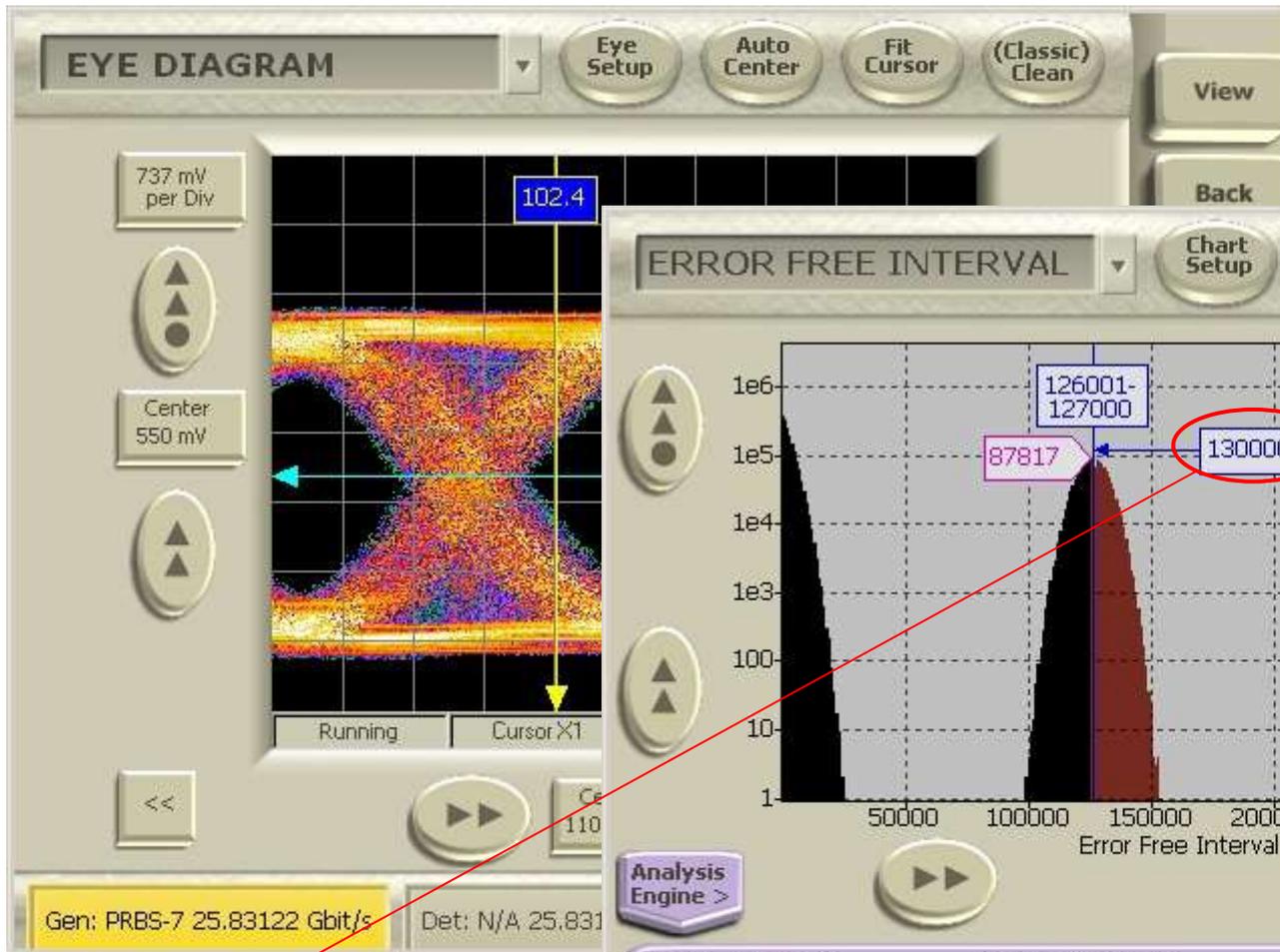


最丰富的抖动和误码分析工具集



误码定位功能: BER rate in a 100G 802.3ba Transceiver

@25.7813G,
1UI=38.788ps



$$1 / (130000 * 38.788\text{ps}) = 198\text{KHz}$$

误码定位功能:

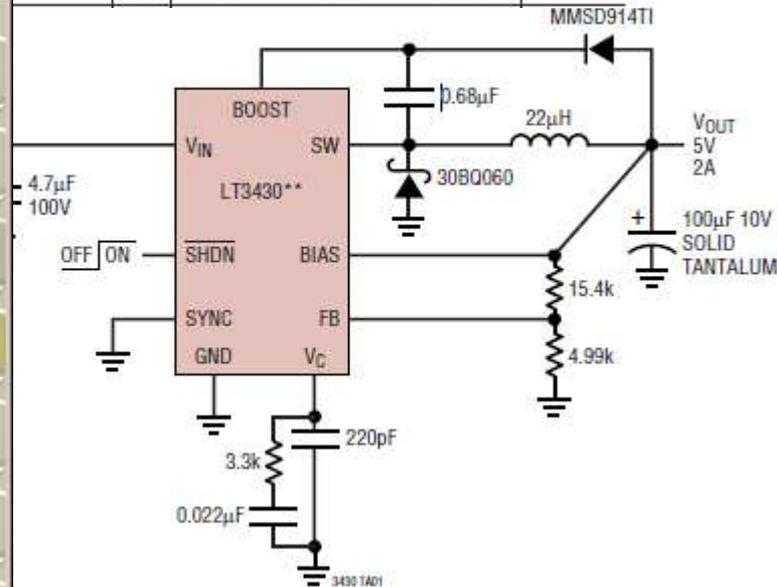
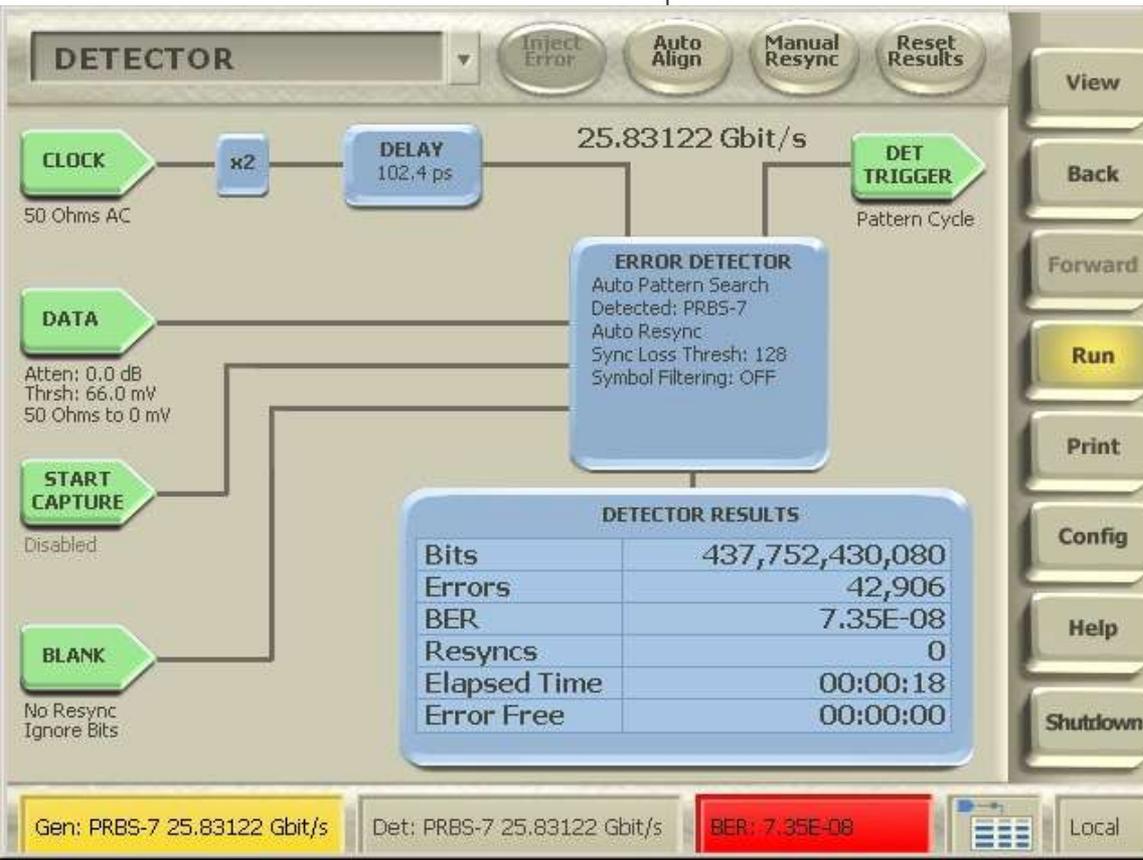
BER rate in a 100G 802.3ba Transceiver

LT3430/LT3430-1

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range, otherwise specifications are at $T_J = 25^\circ\text{C}$. $V_{IN} = 15\text{V}$, $V_C = 1.5\text{V}$, $\text{SHDN} = 1\text{V}$, $\text{BOOST} = \text{Open Circuit}$, $\text{SW} = \text{Open Circuit}$, unless otherwise noted.

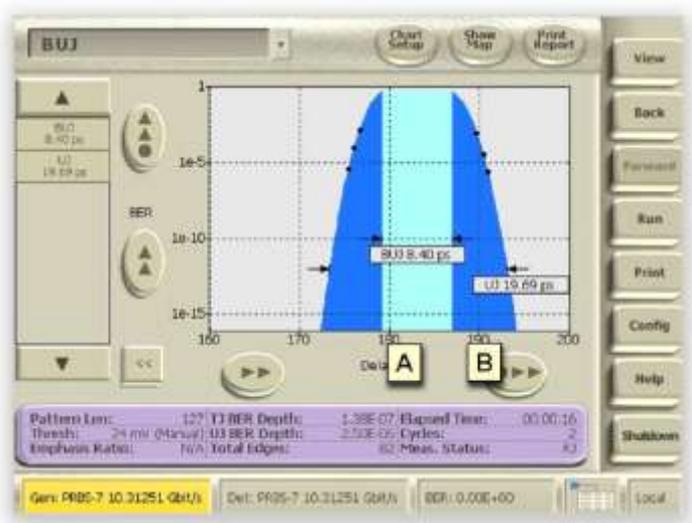
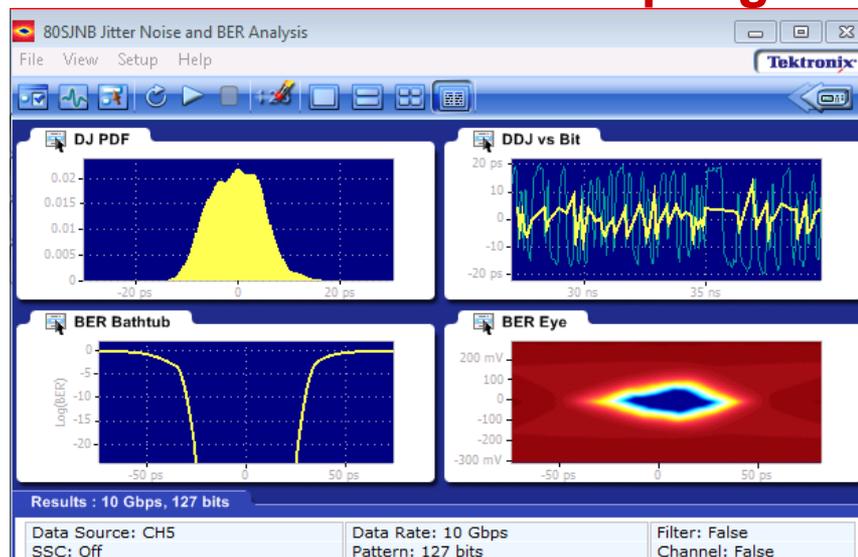
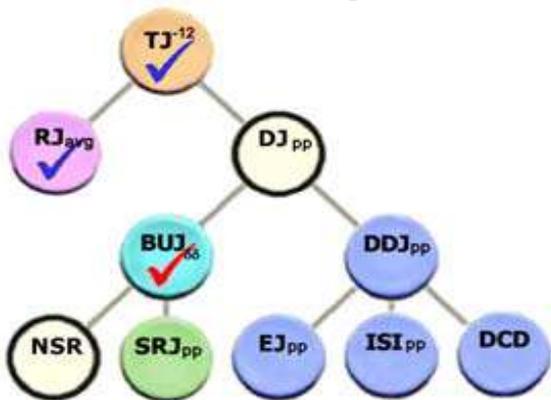
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Maximum Switch Duty Cycle (LT3430-1)		96	98		%
		● 94			%
Switch Frequency (LT3430)	V_C Set to Give DC = 50%	184	200	216	kHz
		● 172	● 200	228	



BUJ分离支持, MJSQ抖动规范的参考

Sampling Scope

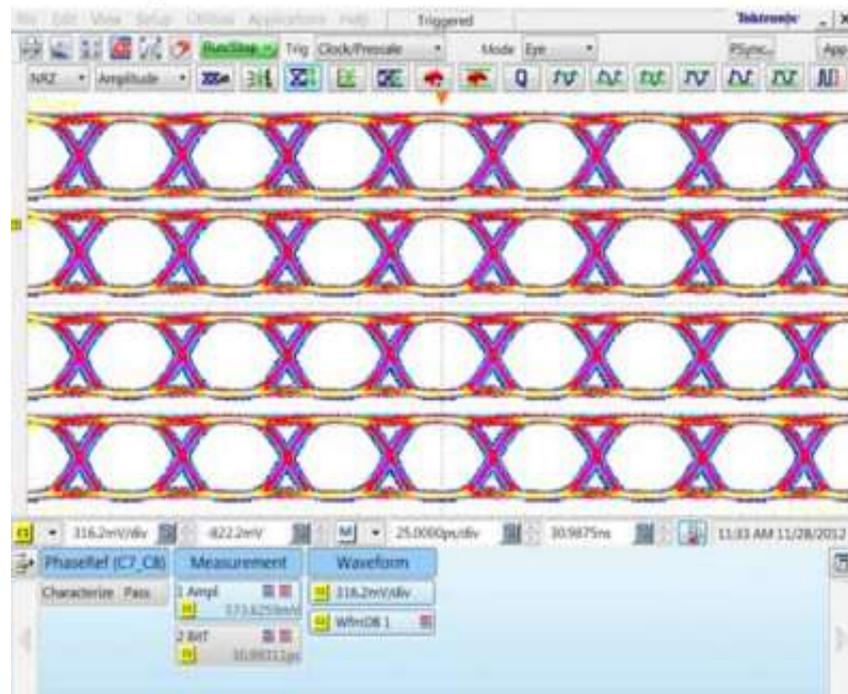
BERTScope



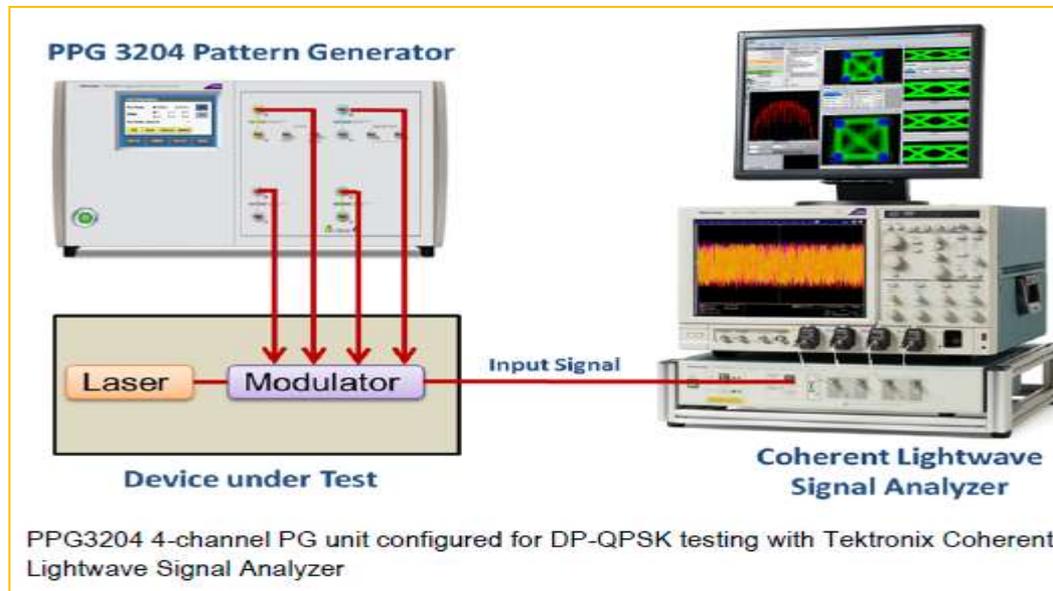
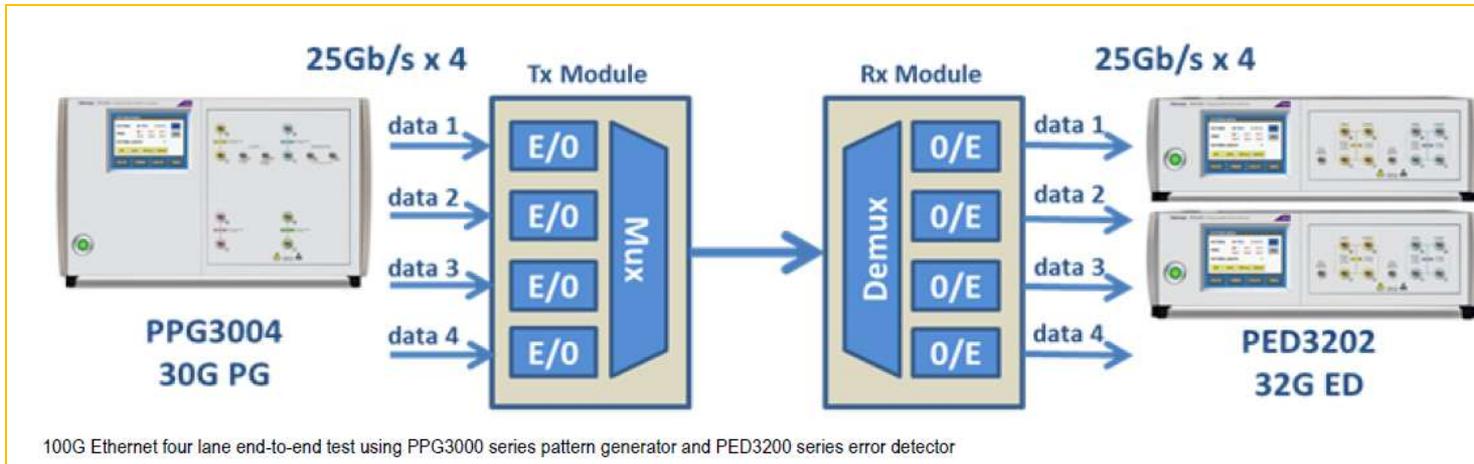
PPG: 4通道32G高速并行误码仪 可用作光调制器激励源和接收端测试



可以独立编程的输出通道支持进行全方位多路测试。数据输出拥有 100 ps 的可调节偏移/延迟范围(独立于通道)。(图中是 32 Gb/s 版本)



100G、400G光接收机测试



PPG/PED 软件界面

The screenshot displays the Tektronix PatternPro Serial Data Test Instruments software interface, divided into two main sections: PPG (Pattern Generator) and PED (Pattern Error Detector).

PPG Section (Top):

- Channel Number:** 1, 2, 3, 4
- Select Pattern Generator:** USB0:0x1857:0x2F28:1133873:INSTR
- Buttons:** Instructions, STOP

PED Section (Bottom):

- Channel Selector:** 1, 2
- Selected Error Detector:** USB0:0x1857:0x32E1:3139107:INSTR
- Buttons:** Instructions, Auto-Sync with PPG, PPG Channel # for Auto-Sync (1), STOP

Left Panel (Volts Menu):

- Output State:** ON
- Link State:** OFF
- Data Amplitude (V):** 0.000
- Offset (V):** 0.000
- Crossover (%):** 0.0
- Termination (V):** 0.0000

Timing Menu (Right of Volts Menu):

- Data Rate (MHz):** 28
- Clock Div:** 1
- Output Clock Rate (MHz):** 28
- External Clock:** Disabled
- Lock Ext Clock:** []
- 10 MHz Reference:** Internal
- Bit Shift (# of bits):** 0
- Skew (ps):** 0.0

Main PED Panels:

- Measure Menu (BER Measurements):** START, STOP, Measured Clock Frequency (GHz): 25, BER: 0.0000E+0, Bit Count: 1.0130E+11, Error Count: 0.0000E+0, Timed Measurements (hh:mm:ss): 00:00:04, Time Limit ON/OFF: ON, Time Limit (s): 1
- Sample Menu (Eye Edge BER Threshold):** 1E-6, Center Delay, Center Offset, Auto Align, Delay (ps): 0.5, Sampling Voltage Offset (V): 0.014
- Sync Menu:** Sync Status: SYNCED, Sync BER Threshold: 1E-6, SYNC
- Utility Menu:** Load Pattern from .csv, Refresh All, Restore Defaults, Setup File Menu, User Command Interface
- Pattern Menu:** PRBS or Data: PRBS, PRBS Length: 0, Pattern Length (bits): 0, Pattern File Menu
- Analysis:** Horizontal Bathub Curve Measurement, Vertical Bathub Curve Measurement, J2 J9 1E-12 Measurements, JTOL Measurement, Contour Plot, PAM4 BER Analysis, Q BER Analysis

PPG/PED: 强大的分析功能

The screenshot displays four overlapping software windows from Tektronix PatternPro:

- ED Bathhtub Measurement:** Shows a bathtub curve plot. A red arrow points to it with the label "浴盆曲线, J2/J9/Tj".
- ED Contour Plot Measurement:** Shows a contour plot of error rates. A red arrow points to it with the label "误码率等高线".
- Jitter Tolerance Measurement:** Shows jitter tolerance parameters. A red arrow points to it with the label "抖动容限测试".
- QBER Measurement:** Shows QBER parameters and a plot of BER vs. Jitter Peak. A red arrow points to it with the label "Q因子测试".

On the left side of the interface, there is a vertical control panel with buttons for "RUN", "Abort", "Return to Main", "Save to file?", "Center Eye?", and "Measurement Complete".

抖动容限测试

Q因子测试

谢谢参与