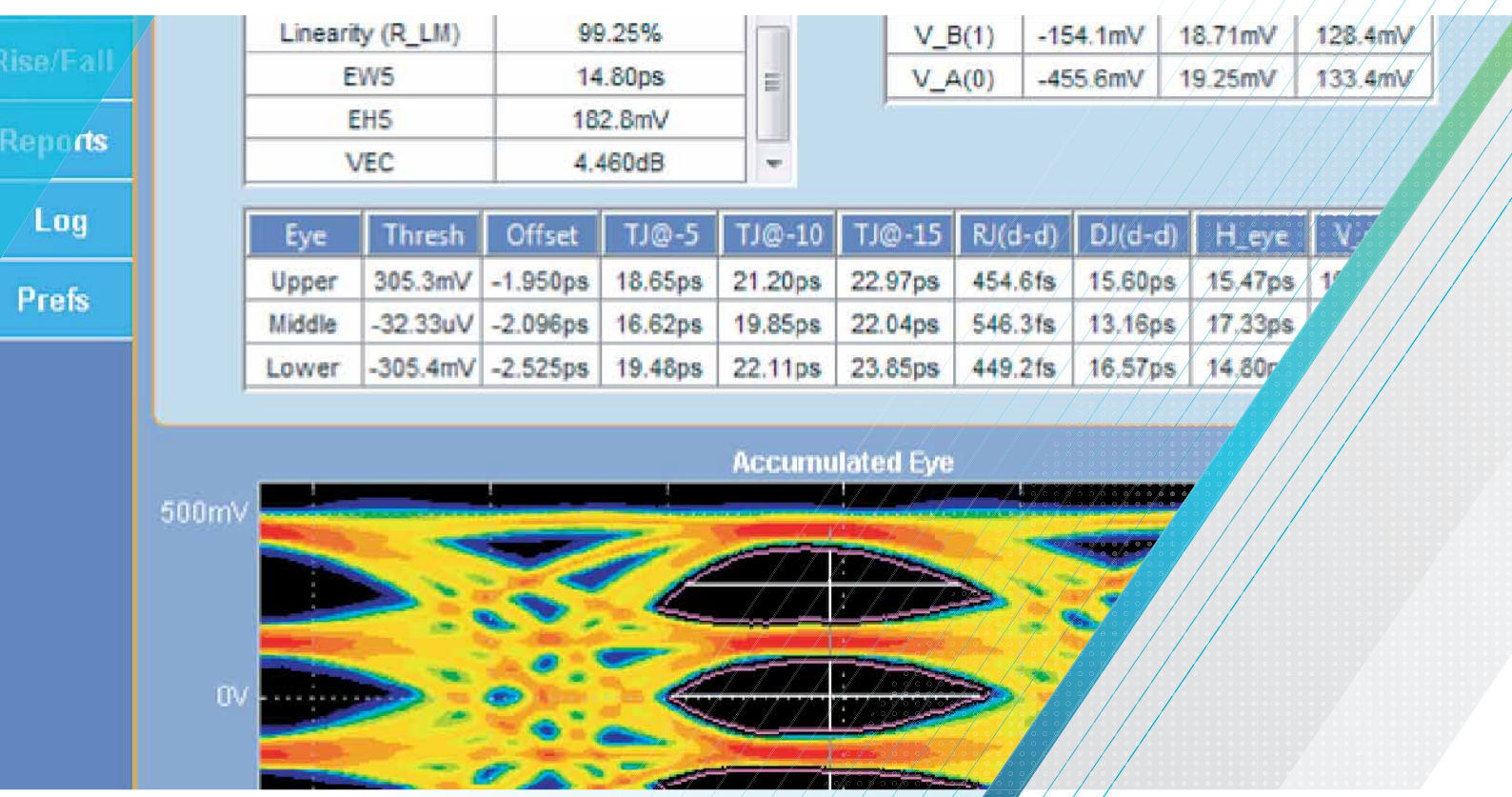
100G 和 400G 数据通信发射机测量

为 100G/400G 数据通信测试确定适当的测量工具

应用指南



Tektronix®

数据通信市场是近期非常热门的话题，这在很大程度上源于消费者对更高质量的视频及其他高带宽云端服务的需求正变得越来越高。

从 2012 年开始部署 25 Gb/s 起，行业口号就一直是创新，所有大型厂商都在努力满足消费者对越来越多的带宽的需求。几年来，我们现在看到采用 25 Gbaud PAM4 的 400G 技术已经进入前期部署阶段。大家可能会预计，56 Gbaud PAM4 也将开始部署。所有这些技术都要求坚实的、精心设计的测试计划，以及功能更强大的示波器。

数据通信行业的创新从未只限于数据通信厂商。他们需要使用测试测量厂商的设备把创新推向市场，因此测试测量厂商也在与时俱进。屡获大奖的 DPO70000SX 示波器就是这样一个实例，其中采用已获专利的异步时序交织 (ATI) 结构，提供了当今市场上任何示波器实时信号采集技术中最低的噪声和最高的保真度。

在从事高速数据通信设计工作的许多地方，传统上首选工具一直是等效时间示波器 (ETO) 或采样示皮器。但是，由于 DPO70000SX 的问世，实时示波器 (RTO) 不仅成为可行的选择，而且在许多情况下成为了首选。本应用指南将介绍大量的常见误解和关键考虑因素，帮助您更好地为自己的需求选择适当的示波器技术。

市场技术

当今高速数据通信市场的重点是在数据中心互连和城域网中建设 100G 和 400G 以太网功能。前期部署的总运行速度为 25G x 4 或 8 路，最终将变为 56G x 4 或 8 路。

在发射机测试中，示波器测量各条通路，因此单线路信令是更实用的品类。下面列出了泰克示波器目前支持的各种标准：

- “100G” 技术：NRZ (PAM2) @ 25.78 Gb/s、100GBASE–KR4 或 100GBASE–LR4，另外还包括 100GBASE–CR4、CAUI–4 和 CEI–VSR 28G。
- “400G” 技术：26 GBd PAM4 或 CDAUI–8 (即 400GAUI–8)、OIF–CEI 56G VSR 或 200GBASE–LR4、400GBASE–FR8。
- “PAM4 下一代”技术：53 GBd PAM4、OIF–CEI 112G VSR 或 100GBASE–DR、400GBASE–DR4

在采用低噪声 ATI 结构的 50 GHz 和 70 GHz 示波器中，RTO 现在能够为上述标准提供良好的有效位性能和测量结果。

ETO 与 RTO 比较

ETO 在数据通信行业中的广泛采用，很大程度上源于这样一个事实，即直到最近，RTO 才突破了 30 GHz 的带宽壁垒，而 ETOs 很早以前就能支持 70 GHz 以上的输入带宽，并包括光输入，这还没考虑 ETO 的模数转换器速度要明显低于 RTO。

RTO 的挑战在于，它们采集样点的速度必须足够快，才能在其带宽和动态范围内重建所有信号，它们的采样率必须超越内奎斯特定理，也就是说，它们的采样率必须至少是带宽的两倍以上。而 ETO 则通过从每次重复中捕获少量信息，来重建重复的信号画面。波形像一串光点一样慢慢累积，一个一个亮起来。这种方法使得 ETO 能够捕获频率成分远远高于示波器采样率的信号。

过去几年中，我们看到业内一直在重点提升 RTO 性能，包括底层芯片和 DSP 技术都取了明显进步。泰克最新推出的 DPO70000SX RTO 实现了重大突破，通过采用称为 ATI 的已获专利的时序交织技术，使信号保真度较传统交织方式有了明显改善，DPO70000SX 现在可以支持 100G 和 400G 电数据通信发射机测试，并与 ETO 系统实现完美相关。

从实际测试测量角度看，RTO 较 ETO 有许多明显优势，例如，RTOs 支持许多相邻标准，如企业 PCIe、SATA/SAS、NVM Express 及 ETO 中不支持的其他标准。RTOs 的灵活性也特别高，支持一致性测试、未来的 400G 速率、链路协商、触发和调试及您可能有的任何其他需求。

下面我们来深入考察这两种示波器的差异，以帮助您满足数据通信发射机测量需求。

噪声水平

一个常见的误解是 RTO 的噪声要比 ETO 糟得多。产生这种误解的原因可以在图 1 中看出，这个图比较了示波器的噪声与“满刻度”。尽管 ETO 确实有某种优势，但较小的信号一般会抵消噪声优势。

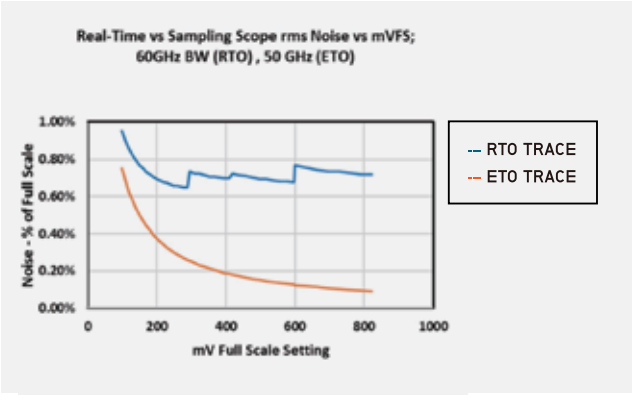
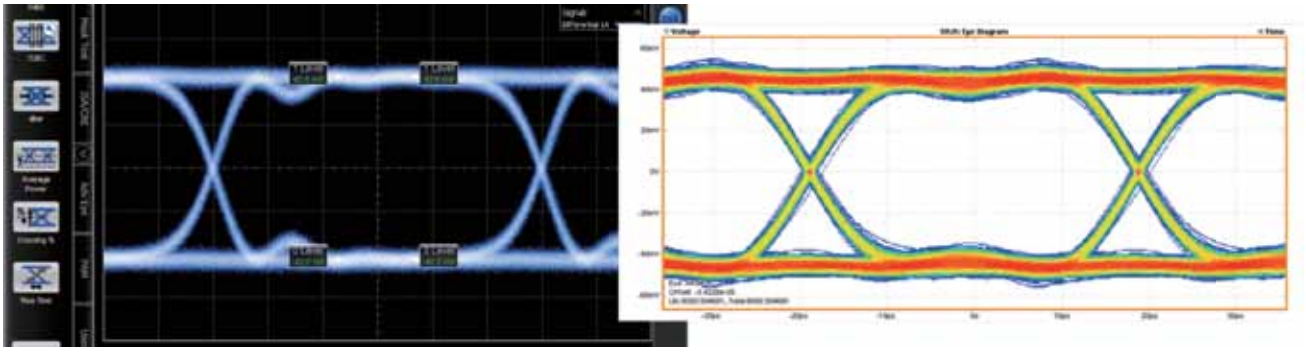


图 1. 更小的信号抵消了 ETO 的噪声优势 (RTO 是蓝色轨迹，ETO 是橙色轨迹)。

而更重要的是，在实际测量情况下，有许多其他失真影响着 ETO 的测量结果，进而弥合了这种噪声上的差距。其中之一是 ETO 的 ENOB (有效位数) 性能只比 RTO 好一位或两位。此外，示波器测量的 DUT 也增加了噪声。



ETO TRACE RTO TRACE

图 2. 80 mVdiff 数据通信信号的眼图在 ETO 仪器和 RTO 仪器上看上去类似。

结果，在现实世界测量中，图 2 中的眼图显示 RTO 的保真度非常好，与 ETO 类似。这两个眼图张开程度都很大。注意样本总量也很重要，因为您需要运行 ETO 几分钟的时间才能得到大量的样点和更粗的轨迹，来有效评估眼图。而 RTO 只需几秒钟就可以获得这些结果。

ETO 的噪声要低一些，但 RTO 仪器和 ETO 仪器的眼图相当，更重要的是，测量结果也相当。

SNDR 测量

另一个常见误解是困难的 100G 测量如 SNDR（信噪失真比），只能在 ETO 上完成。SNDR 是在 25 Gbaud NRZ 电测量上进行 25 Gb/s 采样的一种新方法。信号不理想、噪声和失真会加总起来，然后比较其幅度 (RMS) 与信号大小。SNDR 与插入损失影响（如 ISI）无关，但包括发射机噪声和失真的所有其他来源。

如果结果在 27 dB 以上，那么就可以通过当今许多电背板标准测试 (25 Gb/s NRZ)；26 dB 以上则可以通过电缆标准测试。对 PAM4，这个结果需要更高。例如，100GBASE–KP4 要求 SNDR ≥ 31 dB。

在许多方面，这是测量设备的终极测试。为了解更多信息，我们使用了一台快速 BERT 生成了一个信号，如果用传统常识来判断，这个信号太高了，RTO 很难处理。我们看一下 RTO 能否胜任。

如图 3 所示，在 25 Gb/s 测得的 SNDR 中，泰克 DPO70000SX RTO 与典型竞争对手的 ETO 的结果关联度非常好，颠覆了 RTO 不能进行准确 SNDR 信号测试的思维。

	单位	RTO	ETO
SNDR	[dB]	31.8	32.2

图 3. 25 Gb/s NRZ 电气结果主要 SNDR 指标比较。

时钟恢复

在更高速的信号时钟恢复方面，实际上并没有太大的争议，因为 RTOs 为时钟恢复提供了杰出的支持。仪器中内置 RTO 仪器时钟恢复功能，可以用于高速数据通信标准，支持即将采用的 PAM4 信号及小的 NRZ 信号。

相比之下，ETO 需要外部硬件功能，更糟糕的是，许多硬件设备的带宽不到 30Gb/s。

基于 DSP 的内置时钟恢复功能对恢复复杂的定时及分析低信噪比 PAM4 和较小的 NRZ 信号至关重要。

高级触发系统

毋庸置疑，ETO 需要大量的样点才能重建一个信号，因此很难捕获、甚至看到偶发事件。与 ETO 不同，RTO 可以捕获信号跌落，精确测量触发之间的时间间隔，提供 ETO 等时钟同步工具没有的其他异步信息。

调试功能是 RTO 的决定性优势。示波器应能够处理意想不到的事件，拥有高级触发系统的 RTO，如 DPO70000SX，完全能够胜任这一工作。DPO70000SX 提供了实时示波器中最高的触发系统性能。

图 4 显示在 25.78 Gbaud 信令上触发了宽度 <50 ps 位的欠幅脉冲 (在指定时间内未能越过两个阈值)。RTO 的高系统带宽及超高触发定时精度，可以可靠地捕获信号畸变，有效隔离问题情况。

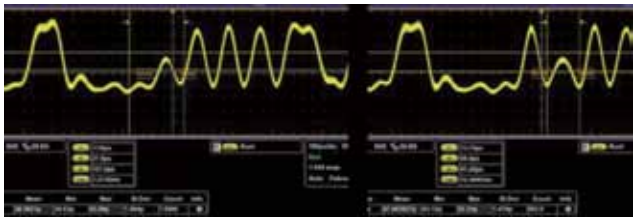


图 4. 触发宽度 <50 ps 位的欠幅脉冲。

链路协商、可视化和调试

与 ETOs 及其他 RTOs 不同，泰克 RTOs 拥有独一无二的功能，可以在 50G 及以下的链路上捕获链路发起或协商协议，并进行分析。RTO 捕获的连续波形可以全面捕获关心的各个段，FastFrame 功能则可以跳过协商的空闲部分。

泰克 DPO70000SX FastFrame™ 使用多个触发事件，捕获和存储有针对性的短突发信号，把它们保存为帧，以后再进行查看和分析。捕获几千个帧成为可能，因此可以分析突发信号中的长期趋势和变化。

测量 100GbE 链路只是部分功能。链路引导也很重要，有助于了解整体系统特点和性能。图 5 显示了可以怎样把链路训练序列解析成交互协议协商表。

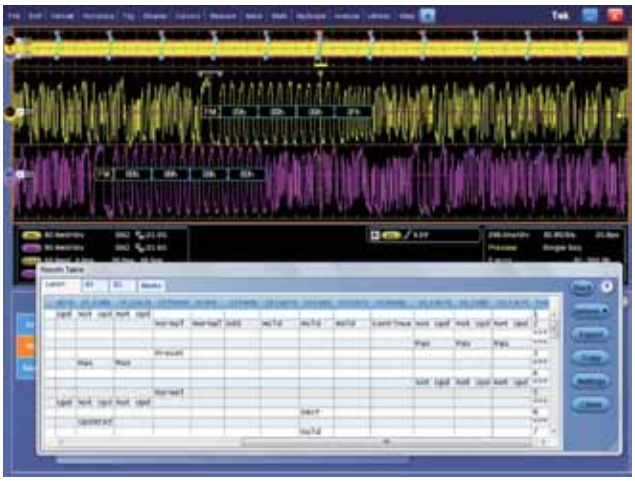


图 5. DPO70000SX RTO 把捕获的 100GbE 链路训练序列解析成交互协议协商表。

时延校正

在差分通道之间实现良好的时间对准在许多数据通信 NRZ 或 PAM4 测量中至关重要。在 ETO 上使用时延校正功能实现时间对准一般效果有限，通常要求使用昂贵的相位调节器，来实现时延校正，且每次在执行时延校正时都要求手动参与。相比之下，所有 DPO70000SX 示波器在前面板上都包括 <1.6 ps 的配套差分快速边沿输出，可以在同轴电缆环境中方便地校正通道定时。

小结

如果您在数据通信发射机测量应用领域，那么现在有足够的理由，来考虑 RTO 与 ETO 相比的主要优劣势，尤其鉴于 RTO 技术的最新进展。泰克提供了行业领先的 RTO 和 ETO，下一页对其进行了详细介绍。

DPO70000SX 系列实时示波器 (RTO)

与前一代示波器相比，DPO70000SX 系列示波器为高性能一致性测试和调试应用提供了大量的优势，包括:

- 高带宽、低噪声 ATI 通道，为当前和未来最快速的信号提供了最好的信号保真度和最宽的测量裕量。
- 灵活的结构，可以在客户现场配置仪器，从 23 GHz 扩展到 70 GHz，几乎没有停机时间。
  - 70GHz 带宽 @ 200GS/s 采样率
- 业界最优秀的触发功能，25 GHz 边沿触发带宽，轻松捕获最快的信号；独特的链路训练功能，缩短调试时间。
- 业界精度最高的时基，在当今最快速的标准上提供了最好、最准确的定时和抖动测量。
- 时基抖动：<125fs RMS
- 集成计数器 / 定时器，实现高精度定时测量，分析设计特性，调试问题。

DSA8300 系列等效时间示波器 (ETO)

DSA8300 是一流的等效时间采样示波器，提供了业界领先的保真度测量和分析功能，其主要特点包括：

- 低时基抖动：
  - 在 8 条同时采集的通道上的典型抖动为 425 fs
  - 在使用 82A04B 相位基准模块时在最多 6 条通道上 <100 fs
- 业界最高的垂直分辨率 – 16 位模数转换器
- 电分辨率：<20μV LSB (对 1 v 全程)
- 光分辨率：从 80C07B 的 <20 nW (1 mW 全程) 到 80C10C 的 <0.6μW (30 mW 全程)
- 光带宽：>80 GHz
- 电带宽：>70 GHz
- 为 NRZ、RZ 和脉冲信号类型提供了 120 多种自动测量功能
- 自动模板测试，80 多种行业标准模板

泰克官方微信

如需所有最新配套资料，请立即与泰克本地代表联系！

或登录泰克公司中文网站：cn.tek.com

泰克中国客户服务中心全国热线：400–820–5835

泰克科技(中国)有限公司
上海市浦东新区川桥路1227号
邮编：201206
电话：(86 21) 5031 2000
传真：(86 21) 5899 3156

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编：100088
电话：(86 10) 5795 0700
传真：(86 10) 6235 1236

泰克上海办事处
上海市长宁区福泉北路518号
9座5楼
邮编：200335
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市深南东路5002号
信兴广场地王商业大厦3001-3002室
邮编：518008
电话：(86 755) 8246 0909
传真：(86 755) 8246 1539

泰克成都办事处
成都市锦江区三色路38号
博瑞创意成都B座1604
邮编：610063
电话：(86 28) 6530 4900
传真：(86 28) 8527 0053

泰克西安办事处
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦26层C座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市洪山区珞喻路726号
华美达大酒店702室
邮编：430074
电话：(86 27) 8781 2760

泰克香港办事处
香港九龙尖沙咀弥敦道132号
美丽华大厦808-809室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

cn.tek.com

有关信息

泰克维护着完善的、且不断扩大的资料库，其中包括各种应用指南、技术简介和其它资源，帮助工程师开发尖端技术。详情请访问：**cn.tek.com**

© 泰克科技公司版权所有，侵权必究。泰克产品受到已经签发及正在申请的美国专利和国外专利保护。本文中的信息代替所有以前出版的材料中的信息。技术数据和价格如有变更，恕不另行通告。TEKTRONIX 和泰克徽标是泰克公司的注册商标。本文提到的所有其他商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

10/16 EA 55C–60939–0