

通用测量仪器（一）：示波器技术

编者按：

示波器是电子测量领域最常用的仪器之一，从模拟时代到数字时代，示波器一路走来在测试测量领域扮演了重要的角色，成为通用测试领域使用最为广泛的仪器。同时，示波器市场的竞争也最激烈。

本期专题在2016年2期专题“2015年电子测量仪器产品应用情况调查”基础上，关注各大仪器厂商在示波器技术中的创新和技术突破，尤其是获得“示波器类”奖项的产品。在2015年度的调查活动开展过程中，参与调查的用户对“示波器类”仪器的关注度颇高，对参与调查以及近期市场上比较热门的示波器产品表现出了浓厚的兴趣。因此，本期专题，挑选了获得“技术创新奖”的DPO70000SX 70 GHz ATI高性能示波器，由泰克科技工程师分享该款仪器的技术实现以及应用案例；并邀请鼎阳科技、罗德与施瓦茨、虹科电子以及Teledyne LeCroy的工程师分别分享了SPO示波器、新时代RTH手持式示波器、PicoScope 5000系列分辨率可调示波器以及信号的加重和均衡。使关注示波器技术发展的行业用户，借助《国外电子测量技术》的平台，可以集中了解一些具有代表性的示波器厂商、产品、技术。

创新时序交织结构解决实时示波器对超高带宽测试的性能需求

泰克科技有限公司

关键词：DPO70000SX实时示波器；异步时序交织（ATI）；相干光调制；雷达；超高频

1 引言

移动互联网、物联网、云存储……随着数据需求的爆发性提高，网络运营商一直在寻求各种方法，提高现有光网络、有线和无线网络的数据吞吐量。为实现超高带宽、更高发射速率和更复杂的调制格式的系统设计测试需求，在测试设备选择方面给设计人员带来了新的挑战。泰克科技的市场团队在向客户提供测试解决方案推荐

时，常常听到这样的需求：这个DP-QPSK项目需要迁移到更高的带宽，需要4条低噪声模数转换器通道；低电平信号是40~50 mV，需要5 mV垂直分辨率测量低噪声；……前者是来自某电信制造的网络设计师的反馈，而后者是某网络公司的高级硬件工程师。

事实上，这几乎代表着当前高端系统设计中面临的普遍现实——满足超高带宽系统设计中更个性化的测试

挑战。对于高速通信应用，通常还能听到这些需求：收发机设计中获得更多的网络容量；定时裕量小，要求新的抖动分离方式；希望能支持光调制分析；仪器必须提供精确的低噪声测量功能。而对于宽带射频设计和调试而言：满足对更多查看能力/信息的需求，在高级雷达中部署宽带线性调频技术，高微波频率在通信链路中的使用量，仪器必须提供更宽的带宽和

更高的分辨率。

在超高带宽系统中，要解决这些不同高端系统设计的测试需求，对测试测量解决方案提供商提出了挑战，这推动了使用超高带宽实时示波器验证、认证和调试这些新系统设计的需求，迫使示波器设计人员扩展实时示波器的性能，以满足直到60~70 GHz及以上范围的要求，这其中泰克DPO7000SX示波器算佼佼者，其提供了高达70 GHz模拟带宽的超高带宽实时信号采集和分析功能，而已获专利的异步时序交织(ATI)结构为实时信号采集实现完美的信噪比和高保真度提供了重要的保障，并能实现稳定精确的多通道定时、准确的分析能力。

2 时序交织技术解决超高带宽下的测试瓶颈

传统实时数字示波器通道一般采用模拟前端，正常情况下包括一个预放和/或衰减器用于信号调节，以及一个追踪和保持装置用来在采样期间锁定信号幅度。如果模拟前端能够满足通道的全部带宽要求，那么ADC的采样率就成为通道带宽的主要限制。一旦带宽要求超出了提供的ADC元器件的采样率能力，那么必须找到其他技术满足这些扩展的要求，其中时序交织是一种常用技术，可以扩展现有元器件的性能。例如，如果模拟前端能够支持最高45 GHz，那么可以交织两个50 GS/s模数转换器，以提供100 GS/s/转换。可以交织多少个ADC没有限制，但

在ADC数量上升时控制交织的器件的时间对准会变得非常困难。

这种时序交织技术一直被主要示波器制造商所采用，实现高达GHz范围的性能。但带宽交织技术用来实现示波器带宽拓展的代价是提高了测量通道中的噪声。正是认识到GHz带宽示波器中一直使用的频率交织技术的问题和挑战，泰克采用了ATI这种全新方法来避免包括数字带宽交织等多种类似交织技术中的部分劣势，同时仍能实现扩展现有ADC带宽这一最终结果。如图1所示是调试异步时序交织电路的功能示意，这是一种独特的数字化整个输入信号频谱的方法，它拥

有信号路径对称性、保持信噪比、提高保真度。两条对称采集路径中每条路径都数字化整个输入信号，然后采用能够保持信号及降低噪声的专利方法重组信号。

通过比较泰克DPO77002SX和另一家厂商63 GHz型号的基准噪声，两台仪器都设置成60 GHz带宽，可以看到ATI提供了低噪声的采集效果，如图2所示。全新主采样时钟设计提供65 fs的超低采样时钟抖动RMS，与ATI实现的超低噪声性能相结合，使DPO77002SX达到全新的抖动噪声底性能。300 mVFS时的JNF仅123 fsRMS，甚至能够与带宽较低的仪器匹敌。

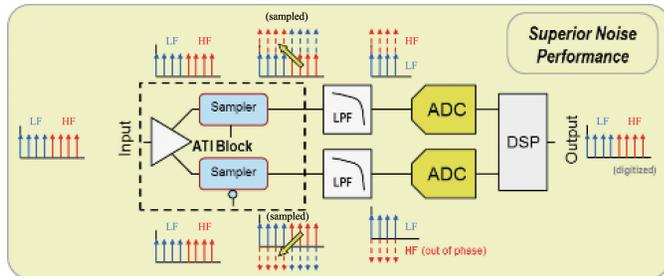


图1 步交织时序交织电路结构

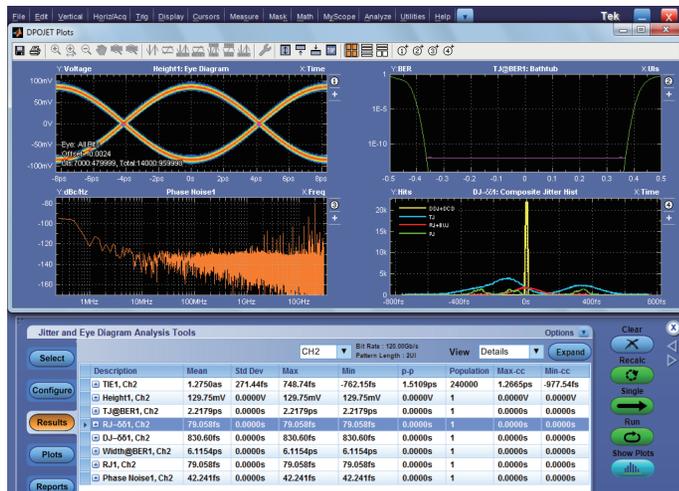


图2 应用到ATI输入的60 GHz正弦波抖动分析，结果显示干净的眼图随机抖动RJ<80 fsRMS

3 超高带宽实时信号采集和分析难题

低噪声、高保真度信号采集在超宽带应用中至关重要，如远距离相干光通信、400 G数据通信和宽带射频通信。泰克旗舰型DPO77002SX采用ATI结构实现了70 GHz和200 GS/s(5 ps/样点)实时采集性能，提供了低的噪声、高的保真度和优良的性能，支持进行复杂的光调制分析，对高速串行信令和频率进行抖动和噪声分析，对宽带RF信号进行相位和调制分析。下文主要分析针对相干光波调制和雷达及高频分析中DPO70000SX系列实时示波器测试的主要特点。

4 应用分析一：相干光调制

泰克DPO70000SX示波器特别适合对400 Gb/s和太位相干光网络系统执行调制格式分析，如图3所示。因为独特的结构可以通过增加通道或更多的带宽来扩展仪器性能，经济地测试100 G(以后可以再扩展到400 G或1 Tb)。DPO70000SX外观小巧，可以把光接收机放在距仪器输入通道近的地方，减少相干测量系统连接中的信号丢失问题。

如图4所示，采用DPO70000SX示波器进行相干光波信号分析的测试系统配置：4通道(双极) 33 GHz，100 GS/s，1 G样点/通道；<500 fs通道间抖动；多台示波器作为一台仪器操作；OM4000软件连接与单台示波器相同。在该配置下，由于ATI输

入通道位置和翻转堆叠，使信号路径长度达到最小，从而降低损耗使测量SNR达到最大。此外，该配置支持台式配置或机架安装配置，非常方便调试设置。

由于仪器误差矢量幅度(EVM)本底越低，调制分析精度越高。DPO70000SX示波器采用ATI技术，为支持这些测量提供了业内极低的噪

底。此外，系统实现了4条全部70 GHz带宽通道，每条通道200 GS/s提供了非常丰富的分析环境。在与OM4524光调制接收机结合使用时，光系统研究工程师可以使用简便的特定客户实现方案及采用MATLAB的全面可定制的分析软件，为非标准调制技术量身定制DPS分析和可视化功能。

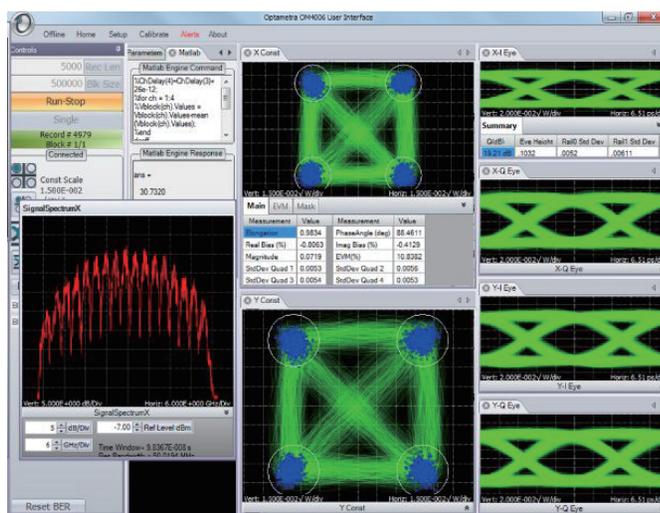


图3 基于DPO70000SX的相干光调制分析

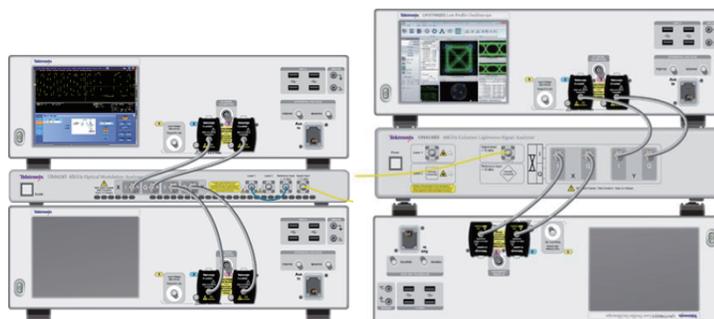


图4 基于DPO70000SX示波器的相干光波信号分析仪器配置示意

5 应用分析二：雷达和射频分析

使用 DPO70000SX进行高频RF测量的实例包括：在雷达信号上进行线

性调频线性度测量；在IEEE802.11ad上进行无线测量，如60.48 GHz载频；监测和调试K频段(20~40 GHz)上的卫星通信。

低噪声、高带宽DPO7000SX系列示波器特别适合基于FFT(快速傅里叶变换)的高频测量分析。在与强大的SignalVu软件分析选项结合使用时，DPO7000SX提供了高达70 GHz的FFT测量功能。由于可扩充的仪器结构，射频工程师可以获得一台单通道仪器进行纯射频输入测量，然后再扩展到多台配置进行全方位的射频系统验证。

在70 GHz DPO7000SX捕获低噪声波形数据之后，可以使用SignalVu解调信号，显示星座图和误差矢量幅度测量及其他所需测量。SignalVu还作为额外的选项在多个域中提供详细分析功能，如雷达系统工作的脉冲分析和稳定时间、新兴调制标准的数字调制分析和通用OFDM分析、以及更低带宽要求的AM/FM/PM调制和音频测量。工程师利用DPO7000SX进行业界雷达和高速分析还能获得以下优势：低噪声实现了低EVM本底；70 GHz提供了宽动态范围和准确的线性调频线性度；集成FFT和相位图生成功能提供了快速准确的频域测量。

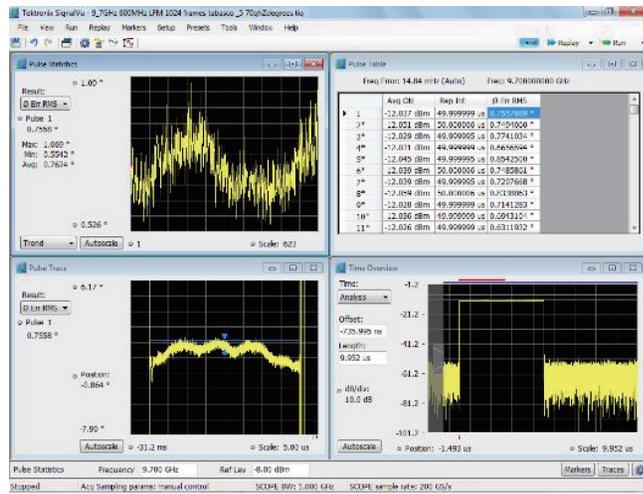


图5 在雷达信号上进行线性调频线性度测量

6 结论

高端测试设备通常需要适合当前和更长远的应用需求，特别是技术发展迭代很快的当前光通信和无线通信应用。尽管大量的相干光研发活动目前还把重点放在100 G上，购买的系统现在要为100 G提供适当的性能和价格，同时在将来还要能够扩展到400 G，这是关键的系统采购要求。泰克DPO7000SX系列实时示波器允许客户购买当前100 G测试所需的功能，而在需要400 G测试时仍保留这些仪器的全部价值。

目前泰克DPO7000SX系列示波器已经成功应用于华为技术有限公司100 G光系统（采用PAM和DMT调制技术）、安华高（Avago PAM-4分析应用）、Tyco用于支持从美国到欧洲的4.4 Tb/s海底通信链路系统调试。同样，在高频无线通信领域，未来5 G通信甚至可能用到28 GHz、37 GHz、39 GHz、64 GHz、以及71 GHz的信号频段，可扩展的DPO7000SX为当前和未来的无线通信应用提供了足够的性能裕量。