

# DPO 数字荧光示波器

## 选型指南和技术文库

2009年7月

See a World Others Don't  
洞悉他人无法探究的新天地



**Tektronix**<sup>®</sup>

# 目 录

选择示波器的流程简图	2
选择数字荧光示波器进行调试和验证——必有一款适合您	3
便携式示波器	10
DPO2000、DPO3000和DPO4000系列便携式数字荧光示波器——轻松调试，不再困难	11
MSO2000、MSO3000和MSO4000系列混合信号示波器——嵌入式设计首选全能调试工具	15
基于Windows操作系统的示波器和分析仪	18
DPO7000系列——遥遥领先的通用型示波器解决方案	19
DPO/DSA70000B系列——调试和验证的专家，从容面对挑战	23
DPO/DSA71000B、DPO/DSA72000B系列——以超高性能应对最尖端测试应用	28
主要测试和分析软件方案	33
示波器替换型号参考表	42
技术文库	43
一 各种串行标准测试对示波器带宽要求一览及推荐型号	43
二 上升时间测量对示波器带宽的要求一览及推荐型号	44
三 选择合适的示波器进行电路调试和验证	45
四 理解有效位数在示波器测量中的意义	55
五 雷达和宽带(超宽带)通信的测试解决方案	62
六 使用泰克混合信号示波器调试混合信号嵌入式设计	68
七 参考资料索引	75

## DPO 数字荧光示波器

■ 选择综述

# 洞悉它人无法探究的新天地

## DPO 数字荧光示波器选型指南



在本选型指南中，您可以了解：

- 选择示波器的基本原则
- 泰克 DPO 系列数字荧光示波器的指标、功能、应用和相关配件
- 泰克示波器替换型号
- 帮助您选型的一览表和应用文章
- 参考资料目录

# 选择示波器的流程简图



## 选择 DPO 数字荧光示波器进行调试和验证

——必有一款适合您！

### DPO实时数字荧光示波器家族——遥遥领先的第三代示波器解决方案

DPO 数字荧光示波器为最尖端的应用需求提供：

- 全球最高的真实模拟带宽
- 全球最高的采样率
- 全球领先的存储深度
- 全球第一个完善的触发系统
- 全球第一个决无折衷的全通道性能
- 业界第一的信号保真度
- 最人性化的操作方式
- 强大而简便易用的分析套件

在本选型指南中，您可以了解到：泰克DPO系列数字荧光示波器的性能和特点。若需要了解各种示波器的更详细情况，您可以参考技术文库七所列参考文献或登录泰克网站 [www.tek.com.cn](http://www.tek.com.cn)，查阅最新的技术指标和应用实例。

### 强大而简便易用的示波器以无与伦比的效率加快您的革新步伐

DPO 系列实时数字荧光示波器的强大能力，遥遥领先于第一代模拟示波器和第二代数字存储示波器(详见技术文库三)。

在调试工作中，DPO 从设计人员和测试人员的使用的3个基本步骤出发，即发现问题(DPX 技术)，定位问题(PinPoint 精确触发)，显示和分析问题(DPO 显示，FastFrame 快帧捕获、MultiView Zoom放大以及各种测量工具)，提供最强大的性能和功能；

在验证工作中，DPO 杰出的信号保真度、业界第一的采样率和内存深度以及完整的分析套件，为当今日益苛刻的标准一致性验证提供了尖端的“一键式”解决方案。

源于60年来泰克和全球电子工程师的精诚合作和密切交流，泰克示波器始终以优越的性能和简便易用的操作，使工程师专注于自己的设计工作而不是仪器本身。

### 主要特点：

- DPX采集技术——革命性的示波器结构，彻底消除数字存储示波器的各种缺点，洞悉它人无法探究的新天地
- 带宽从100MHz至20GHz，多达35种型号的数字荧光示波器解决方案。所有型号均可在全通道(所有通道同时使用)上达到标定带宽。
- 业界同样带宽下最快的上升时间，特别适合高速脉冲信号(包括数字信号)测试
- 采样率可高达每通道50GS/s
- 每通道可提供高达250M的存储深度，并且没有任何使用上的限制
- 杰出的信号保真度，提供最高的测试精度
- 领先的Pinpoint®触发系统，精确定位信号中您关心的细节
- 完整的探头解决方案，为最苛刻的测试提供便捷可靠的探测方案
- MultiViewZoom™多级放大与显示技术和高级搜索与标记软件，简便地管理采集数据，使所有捕获的波形细节一览无余
- MyScope®用户自定义操作界面，以最直观的方式定制符合自己习惯和应用的控制菜单
- 提供了同级别示波器中最大最细腻的波形显示能力
- 双显示器支持——您可以一边操作示波器，一边编辑报告或访问其它MS Windows应用程序

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 选择综述

	便携式示波器 DPO2000	便携式示波器 DPO3000/4000 系列	混合信号示波器 MSO2000/3000/ 4000 系列	通用型示波器 DPO7000 系列	高性能示波器 DPO/DSA70000B 系列	超高性能示波器 DPO/DSA71000、 DPO/DSA72000B 系列
带宽	100MHz~200MHz	100MHz~1GHz	100MHz~1GHz	500MHz~3.5GHz	4GHz~8GHz	12.5GHz~20GHz
通道数	2 通道或 4 通道	2 通道或 4 通道	2 通道或 4 通道 + 16 逻辑通道	4 通道		
最高采样率	1GS/s	2.5GS/s(带宽 500MHz 及以下 型号)或 5GS/s (1GHz 型号)	模拟通道同 DPO 型号 DPO4000 数字通道 为 500MS/s(主)和 16.5GS/s(MagniVu) DPO2000 数字通道 为 1GS/s	最高 40GS/s, 全通道使用下 每通道为最高 10GS/s	每通道 25GS/s	每通道 50GS/s
最大存储 深度	每通道 1M	每通道 5M (DPO3000)或 10M(DPO4000)	同 DPO 型号, MSO4000 数字 通道还具有 10K MagniVu 高速内存	40GS/s 采样率下 最高 400M	每通道可达 100M	每通道可达 250M
触发系统	高性能触发系统, 可选的视频、I <sup>2</sup> C、SPI、CAN、 LIN 和低速串行总线触发方式			PinPoint™ 触发系统	PinPoint™ 触发系统, 高级触发灵敏度 超过 5div@11GHz, 串行触发速率 可达 5Gbps	
波形捕获率	5000 次 / 秒	50000 次 / 秒		250000 次 / 秒	300000 次 / 秒	
说明	便携式示波器, WaveInspector 操作, 轻松应对常规测试挑战		混合信号示波器, 同类型示波器中 的佼佼者	实验室示波器, 优秀的性能价 格比, 轻松应对 常规测试挑战	最具代表性的高性 能高速信号调试 工具。全面解决 流行应用的难题	最高性能的实时 示波器, 无与伦 比的高速信号调试 和验证解决方案

表一 DPO 家族成员纵览表

### 第三代数字荧光示波器，以前所未有的方式为您展示波形

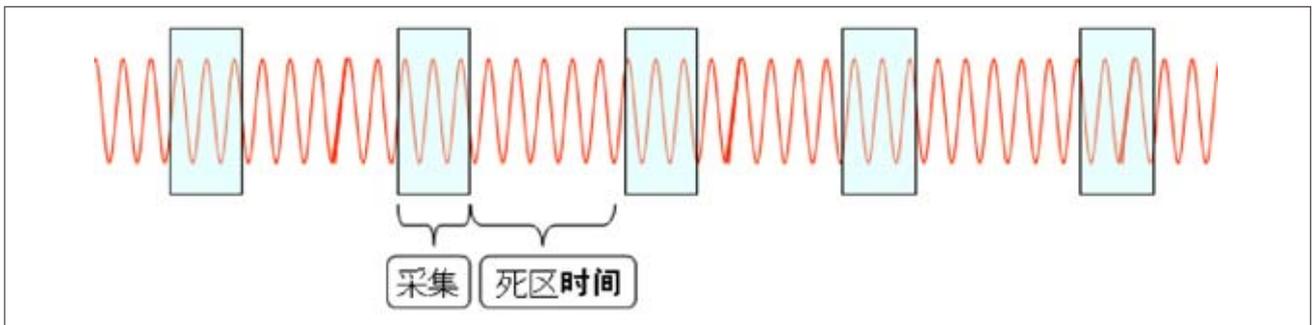
- 傲视群雄的波形捕获率
- 直观明了的三维显示
- 无比丰富的信号细节

第一代的模拟实时示波器(ART)和第二代的数字存储示波器(DSO)，都有其明显的缺点。基于DPX数字荧光技术的第三代数字荧光示波器(DPO)，结合了前两代示波器的优点，同时消除了两者的缺点。全新一代的数字荧光技术进一步提升了数字荧光示波器的实时性，使DPO在性能和适用性方面已经远远超过了同等带宽的ART和DSO，能为调试和验证这两大示波器的主要功能上提供当前业界性能最优、效率最高、分析能力最强的选择。

一支独秀的FastAcq信号采集技术成就了DPO领先的波形捕获和显示能力。FastAcq基于泰克专有的DPX™采集技

术，它在全部四条通道上，同时以最快每秒300,000个波形的速率捕获信号，显著提高了发现罕见问题事件的概率。信号发生的频次使用不同颜色表示，用户只需简单地旋转亮度旋钮，就可以清楚地查看“别人看不到的世界”，全面监视电路运行状况。某些示波器厂商声称他们能在很短的突发时间内实现高波形捕获速率，但只有泰克数字荧光示波器能够持续实现这么快的波形捕获速率，从而可以迅速揭示问题特点，并可进而使用完善的触发模式隔离问题，节约几分钟、几小时、甚至几天的时间。其独特的三维数据显示能力，使各种信号行为一目了然，无可遁形。

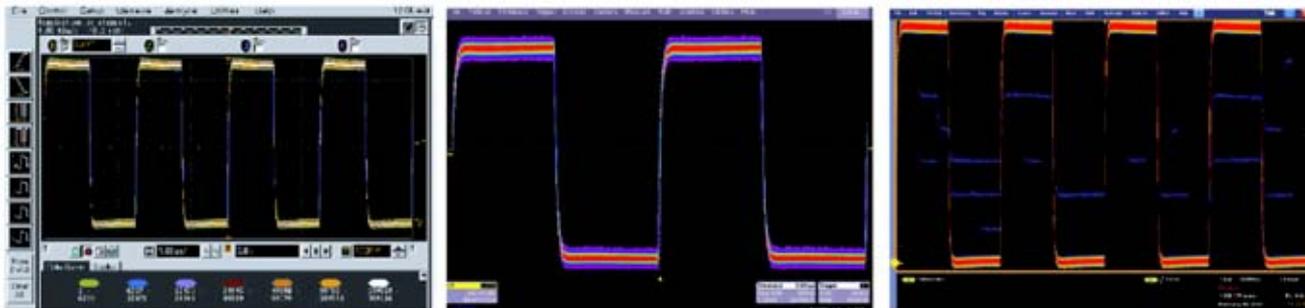
传统数字存储示波器采用串行波形处理构架，波形经过前置放大器，高速ADC，送入高速采集内存，需要CPU进行运算和处理，再送入显存中在示波器屏幕上显示出波形。这导致普通示波器在每一个采集波形之间的死区时间过长，波形捕获率很低，一般死区时间是采集时间的100倍以上。如下图所示。



■ 采集时间和死区时间示意图

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 选择综述



■ DPO 遥遥领先的波形捕获率帮助快速发现偶发事件

数字荧光示波器采集前端采用泰克独有的DPX并行成像处理器，可提供最快每秒钟采集 300,000 个波形的能力，死区时间非常小，这样对于电路中的复杂信号和数字电路中未知的偶发异常波形，DPO 能够快速发现和显示，进而进行以后的分析和处理。普通示波器波形捕获率仅为 800 – 8000 个/秒。

上图为 DPO70604B 数字荧光示波器 (右一) 和传统 6GHz 带宽示波器观测同一信号时的效果，其中 DPO70604B 以超过 300000 次/秒的波形捕获率，迅速帮助设计和调试人员完成了调试的第一步，即在最短的时间内发现问题 (紫色的波形为偶发的异常波形); 左边两图为传统示波器捕获波形，波形捕获率有限，一般每秒小于 8000 个波形，漏失了信号中的许多偶发故障。

**DPX™ 采集技术可为以下测试应用提供有力的保障**

- **捕获动态复合信号** 例如：正交幅度调制 (QAM) 基带信号、异步分组数据和模拟视频信号等
- **抖动测试** DPO 实现了让工程师能对信号边缘抖动分布情况作直观统计显示。在通用信号应用中，则可“看到”皮秒范围内的抖动，以使工程师在调试电路的同时观察抖动的实时变化
- **偶发毛刺捕获** DPO 快速捕获速率甚至可以发现最罕见的毛刺，这使工程师能够对逻辑电路的畸变时间进行测试和分析，而且 DPO 准确独特的三维信息可提供畸变事件出现的频度
- **长时间范围捕获** DPO 提供丰富的数据可使工程师探测到长时间范围内信号行为的微妙变化。在磁盘驱动器应用中，工程师可观察 1ms 时间窗口内的纳秒信号的变化情况，可为磁盘磁道的整个扇区提供比特级的信号细节窗口
- **噪声分布分析** DPO 可提供信号噪声分布的定性和定量反馈信息。工程师还能以实时方式用直方图分析视频信号的噪声特性
- **调幅** DPO 以用户熟知的模拟示波器格式精确地显示调幅信号。亮度等级层次和大量的波形数据可在信号包络线中显示信号的各种细节



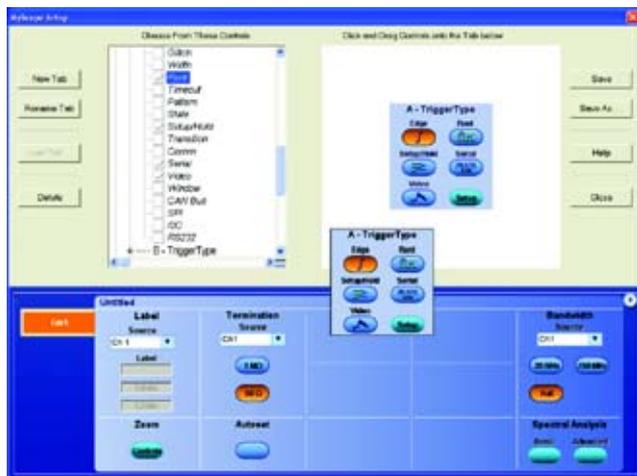
■ 欠幅脉冲发生在边沿问题以后，Pinpoint 准确触发

**在感兴趣的事件上触发示波器**

在感兴趣的事件上触发示波器，这种能力在复杂的信号调试和检验中至关重要。不管您是要找到问题信号，还是需要隔离复杂信号的一部分以进一步进行分析，如 DDR 读或写突发信号。泰克 Pinpoint® 触发技术都提供了解决方案。Pinpoint® 触发系统采用完全的锗化硅 (SiGe) 技术，能保证非常高的触发灵敏度及非常低的触发抖动，并能够捕获非常窄的毛刺。PinPoint 触发技术允许在 A 触发电路和 B 触发电路上选择几乎所有触发类型。其它触发系统只在单个事件 (A 事件) 上提供了多种触发类型，延迟触发 (B 事件) 选择一般仅局限于边沿触发，如果 B 事件没有发生，这些触发系统也通常不能提供触发序列复位功能。而 Pinpoint 触发技术则同时在 A 触发器和 B 触发器上提供了全套高级触发类型，它支持逻辑条件判定，控制什么时候查找这些事件，并提供触发复位能力，在指定时间、状态和转换后可以重新开始触发序列，这样，即使最复杂信号中的事件仍能被捕获。而 Pinpoint 触发则提供了超过 1400 种组合方式，而且都是以最高性能实现的。通过增强触发功能，触发抖动下降到 <math>< 100 \text{ fs}</math>。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 选择综述



■ MyScope 只需拖放即可设置个性化操作面板

### MyScope® 自定义控制窗口

泰克首先在业界引进易于客户自定义的示波器用户界面。MyScope控制窗口，是一项具有革新意义的创举，它使您能随心所欲地构建您自己的控制窗口：只用您需要的和工作中必需的测试和测量功能。自有示波器以来，您将第一次能从仪器的各个部分把您需要的所有功能集于一个控制窗口内使用，从而有效地创建出您自己个性化的示波器功能“工具箱”。从今以后，您再也不会像以前那样必须从菜单搜索所需功能；每次外出或休假回到实验室后，也再也不用重新学习如何使用示波器。

MyScope 控制窗口的宝贵之处在于，它可使您尽量把宝贵的时间集中在手头的任务上，而不是放在浏览示波器菜单上。而且，这些自定义控制窗口的创建过程并不复杂，只需几步简单直观的拖放步骤便可在数分钟内完成。创建好个性化的控制窗口后，您便可通过示波器按钮 / 菜单栏上的专用 MyScope 按钮和菜单选项使用控制窗口，其简便程序就象任何其它控制窗口一样，同时，您也可以通过传统的菜单访问没有拖入 MyScope 的功能。自定义控制窗口在数量上没有限制，故可创建许多窗口，在共享环境下使每一个使用示波器的人都有自己独特的控制窗口。由于控制窗口是以文件形式储存在硬盘上，因而可轻而易举地将其传送到其它泰克示波器上使用。MyScope 控制窗口，可使所有示波器使用者获益，从此免除了许多用户以前所面临的因一段时间不用仪器而在回到实验室后需温习用法的困境，而那些天天使用示波器的业务高手们，则可通过控制窗口进一步提高工作效率。您可将所有需要的功能都放在一个控制窗口内，在重复类似任务时无须一一浏览层层菜单。

### 通过 OpenChoice® 软件，使用熟悉的分析工具量身定制测试测量系统

OpenChoice 软件的分析 and 联网功能给泰克 Windows XP 示波器增加了更多的灵活性：通过使用高速嵌入式总线，波形数据可以在 Windows 桌面上直接从采集系统传入分析应用程序，其速度要比传统 GPIB 传送快得多。软件中包括泰克实现的工业标准协议，如 TekVISATM 接口和 ActiveX 控件，以便使用和增强 Windows 数据分析功能和文档管理。它还包括 IVI 仪器驱程，可以使用 GPIB、RS-232 和局域网连接，从仪器上或外部 PC 上运行的程序中，简便地与示波器通信。也可以使用软件开发人员工具箱 (SDK)，帮助创建定制软件，使用 Visual BASIC, C, C++, MATLAB, LabVIEW, LabWindows/CVI 和其它常用应用开发环境 (ADE)，自动完成波形采集和分析中的多步流程。它还支持把示波器与外部 PC 和非 Windows 主机集成起来。此外，OpenChoice 结构提供了完善的软件设施，支持更快速、更通用的操作。可以使用数据传送工具，如 Excel 或 Word 工具条，简化 Windows 桌面或外部 PC 上的分析和文档管理工作。



■ iView 将 DPO 和逻辑分析仪无缝连接成为测试系统



■ DPO 和其它泰克优秀的测试产品可以简便地组成测试系统

## 数字产品设计和调试

通过泰克公司的信号联合观测(iView™)技术实现的泰克全系列示波器与泰克 TLA7000/5000/700/600 系列逻辑分析仪的互操作性,使数字产品设计人员能更快、更轻松地解决信号完整性问题,并有效地对其设计的系统进行调试和检验。iView 功能将 Tektronix 示波器的先进性能和测量精度与 Tektronix 逻辑分析仪的多通道和触发能力全面整合为一体。这一整合使设计人员能通过同一显示窗口观察与时间相关的数字和模拟数据,并将系统中造成故障的数字信号的模拟特性隔离开来。

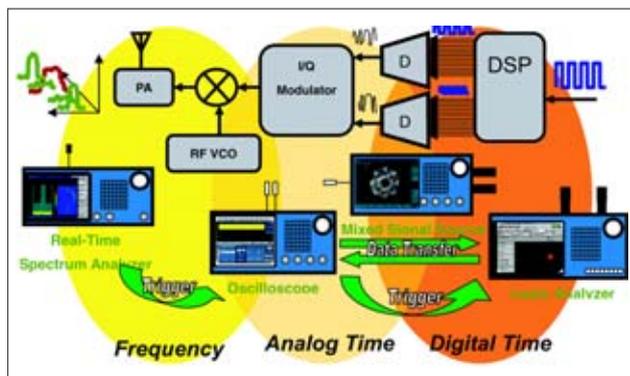
iView 拥有自动引导程序,其作用是带领用户完成整合所需的设置和连接,以此简化示波器与逻辑分析仪的整合过程。整合后无需校准两台设备。而且一旦设置好后,iView 功能即可完全自动化。结果是:泰克领先的示波器和逻辑分析仪被整合为一套适用于数字产品设计和调试的综合工具集,更方便的是,这个工具可拆可合,而且分拆和整合是如此简单。

## 和其它泰克的优秀测试设备的互联能力

除了和逻辑分析仪互连能组合成为“数据域—时域综合测试系统”以外,泰克的示波器还可以与其它测试设备互操作,真正实现“1 + 1 > 2”,完成多种复杂测试任务。

作为数据采集设备,可以直接将示波器采集的模拟波形送入到泰克任意波形发生器(AWG)中进行复现,进而完成复杂的极限测试和系统冗余度测试。

与泰克的实时频谱分析仪互相触发,同时在频域和时域时间相关地观察同一个信号



■ 完整的 SDR 解决方案

DPO 还可在完整的“射频—中频—基带—信号处理”的解决方案中,采集、分析从数字信号直到射频信号的模拟特征,全面调试和验证系统性能(详见技术文库)。

## 便携式示波器

### ■ 选型指南

## 便携式示波器

泰克 DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列数字荧光示波器和 MSO2000、MSO3000、MSO4000 系列混合信号示波器是轻巧易用的便携式仪器。它们提供了杰出的性能、经济性和便携能力,可以迅速简便地完成下列日常工作中的测试任务:

- 通用的电路调试和验证测试
- 嵌入式系统调试
- 汽车电子系统测试
- 计算机通用接口测试
- 视频信测试
- 电源系统测试
- 查看微小信号
- 调试数字定时问题
- 信号完整性测试

### 其主要特点是:

- 覆盖 100MHz~1GHz 的带宽满足主流应用要求
- 2 条或 4 条模拟通道, 16 条数字通道(MSO 型号)
- 同等级仪器中领先的记录长度,并配合专利技术的数据管理工具(WaveInspector), 提高工作效率
- 所有模拟通道上满足至少 5X 的过采样率
- 每条通道独立的垂直设置功能, 操作简便
- 仪器厚度小, 显示器尺寸大, 同时满足使用人员对仪器占用空间和细节观测的要求
- 所有系列支持 USB 接口的数据交换
- 通过 USB 屏幕传送或 NI SignalExpress 泰克版免费软件实现仪器远控

## DPO2000、DPO3000 和 DPO4000 系列 便携式数字荧光示波器

——轻松调试，不再困难



- 可选带宽范围从 100MHz 至 1GHz
- 连续提供波形捕获率高达 5000 次 / 秒 (DPO2000) 或 (DPO3000、DPO4000) 次 / 秒 50,000
- 每通道 1M (DPO2000)、5M (DPO3000) 或 10M (DPO4000) 标准配置内存深度
- WaveInspector™ 操作界面
- 总线触发、解码和分析
- 小体积、大显示器
- OpenChoice™ 体系构架，轻松完成互连和资源共享

### 同等级仪器中最容易操控的超长存储深度

DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列重新定义了便携式示波器在记录长度方面的标准，不仅仅是拥有的超长存储深度，还包括为处理海量数据所提供的工具。DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列还配备了中档市场中完整的集成式串行触发和分析解决方案。此外，DPO4000 系列提供了坚实的性能、丰富的功能集、极具吸引力的价格和惊人的小型体积，另外还提供了 7 英寸 (DPO2000)、9 英寸 (DPO3000) 或 10.4 (DPO4000) 英寸显示器和每通道旋钮垂直控制功能。下表概括介绍了 DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列的型号、主要指标。

# DPO2000、DPO3000 和 DPO4000 系列便携式数字荧光示波器

## ■ 选型指南

### ■ 主要指标和选型指南

	DPO2012/2014	DPO2024
带宽	100MHz	200MHz
通道数	2 或 4	
最大采样率(所有通道)	1GS/s	
波形捕获率	5000 次 / 秒	
最大内存(所有通道)	1M	
显示器	7 英寸 WQVGA(480 × 234)显示器	
触发	边沿、脉宽、矮脉冲、逻辑、建立 / 保持时间、上升 / 下降时间、视频； 以下为选配：I <sup>2</sup> C、SPI、CAN、RS232 等	
注释	标注配置内存深度为每通道 1M，每通道标配 200MHz 带宽 P2221 型 1x/10x 衰减无源探头。 泰克提供其它各种有源、差分、高压探头可选。	

	DPO3012/3014	DPO3032/3034	DPO3054
带宽	100MHz	300MHz	500MHz
通道数	2 或 4		
最大采样率(所有通道)	2.5GS/s		
波形捕获率	50000 次 / 秒		
最大内存(所有通道)	5M		
显示器	9 英寸 WXGA(800 × 480)显示器		
触发	边沿、脉宽、矮脉冲、逻辑、建立 / 保持时间、上升 / 下降时间、视频、 时间延迟、事件延迟；以下为选配：I <sup>2</sup> C、SPI、CAN、RS232 等		
注释	标注配置内存深度为每通道 5M，每通道标配 500MHz 带宽 P6139A 十倍衰减无源探头。泰克提供其它各种有源、差分、高压探头可选。		

	DPO4034	DPO4054	DPO4104
带宽	350MHz	500MHz	1GHz
通道数	4		
最大采样率(所有通道)	2.5GS/s		5GS/s
波形捕获率	50000 次 / 秒		
最大内存(所有通道)	10M		
显示器	10.4 英寸 XGA(1024 × 768)		
触发	边沿、脉宽、矮脉冲、逻辑、建立 / 保持时间、上升 / 下降时间、视频、时间延迟、事件延迟； 以下为选配：I <sup>2</sup> C、SPI、CAN、RS232		
说明	四通道，能适用于 数字电路测试、 功率测试等应用	中高速数字电路 调试工具，满足大部分 的关键测试需求	满足高速嵌入式 系统调试的几乎所有 要求，高性价比
注释	标注配置内存深度为每通道 10M，每通道标配 500MHz 带宽 P6139A 十倍衰减无源探头。 泰克提供其它各种有源、差分、高压探头可选。		

表二 DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列便携式数字荧光示波器主要指标



■ WaveInspector 操作区，独创的波形导航工具

### Wave Inspector® 控制功能

记录长度不只是示波器在一次采集中可以存储多少个样点。如果没有有用的工具处理这些数据，那么采集几千屏的信息有什么用呢？DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列提供完整的处理长记录长度工具集的示波器。

- **放大 / 平移**— 专用两级前面板旋钮可以直观地控制缩放和平移。内部旋钮调节缩放系数(或缩放标度)，顺时针旋转，可以激活缩放，逐渐提高放大系数；反时针旋转，可以降低放大系数，最终关闭缩放功能。外部旋钮在波形中平移缩放框，迅速得到用户感兴趣的波形部分。

外部旋钮还采用应力反馈，确定以怎样的速度在波形上平移。外部旋钮旋转得越多，缩放框移动的速度越快。即使在 10M 的记录长度时，您仍可以在几秒钟内从采集一端移动到另一端！通过反方向旋转旋钮，可以改变平移方向。您不必再导航经过多个菜单，调节缩放视图。

- **播放 / 暂停**— 在寻找异常事件或感兴趣的事件时，前面板上的专用播放 / 暂停按钮在显示屏中自动滚动波形。播放速度和方向使用直观的平移旋钮进行控制。旋钮旋转得越多，波形滚动速度越快。通过反方向旋转旋钮，可以改变平移方向。
- **用户标记**— 想查看波形上感兴趣的部分？在前面板按 Set Mark 按钮，可以离开波形上一个或多个“书签”。为在不同标记之间导航，只需在前面板上按 Previous 和 Next 按钮。
- **搜索标记**— 不想花时间考察整个采集、找到正在寻找的事件？WaveInspector 系列具有强大的波形搜索功能，可以根据用户定义的标准搜索长时间采集的数据，如脉宽、逻辑状态、甚至串行数据分组内容。搜索标记会高亮度显示所有事件发生，并可以使用前面板 Previous 和 Next 按钮简便地导航。这可以轻松地将分散在长记录长度采集中的、发生的多个搜索事件。

## DPO2000、DPO3000 和 DPO4000 系列便携式数字荧光示波器

### ■ 选型指南



■ I<sup>2</sup>C 总线的触发和分析

### 串行触发和分析

要求长记录长度的最常用的应用之一是在嵌入式系统设计中  
进行串行数据分析。由于下述新功能, DPO2000、DPO3000、  
DPO4000 系列为处理 I<sup>2</sup>C、SPI 和 CAN 等低速串行总线的工  
程师提供了最优秀的工具:

- **总线显示**—可以更高级地组合查看构成总线的各个信号(时  
钟, 数据, 码片启用, 等), 可以更加简便地识别分组在哪里  
开始和结束, 识别地址、数据、标识符、CRC 等子分组成  
分。
- **串行触发**—在流行的低速串行接口(如 I<sup>2</sup>C, SPI 和 CAN)上,  
在分组开始、特定地址、特定数据内容等分组内容上触发  
采集。
- **总线解码**—厌倦了不得不目视检查波形, 计算时钟, 确定  
每个位是 1 还是 0, 把多个位组合成字节, 确定十进制值?  
让示波器为您完成这些工作! 一旦设置了总线, 示波器将  
解码总线上的每个分组, 以十进制或二进制显示总线波形  
中的值。
- **事件表**—关注总线数据内容? 可以在表格视图中查看解码  
后的分组内容, 与逻辑分析仪显示画面类似。

### 还有更多利于工作的特性

除上面列明的关键特色和性能特点外, DPO2000、DPO3000、  
DPO4000 系列提供了下述重要的可用性功能 / 增强特性:

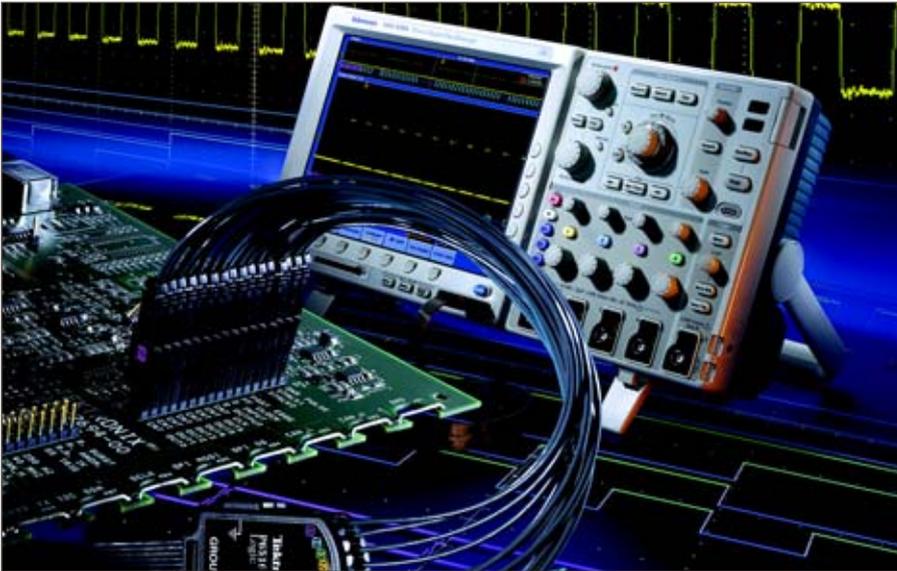
- **惊人的小体积**—工作台空间非常宝贵, 测试设备占用的空间  
越少越好。DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列把优异  
的性能放到仅深 5.4 英寸的仪器中! (这一深度与 TDS1000/  
2000 相同!)
- **大型 9 英寸 WVGA 或 10.4 英寸 XGA 显示器**— 客户们还一  
致告诉我们“显示器越大越好”, 但同时说“不要让整个仪器  
尺寸变得太大”。DPO3000、DPO4000 系列实现了完美平衡,  
在仅深 5.4 英寸的仪器中提供了醒目明亮的大显示器!
- **每通道旋钮垂直控制功能**
- **前面板上的 USB 和 CompactFlash**—由于 USB 和 Compact  
Flash 海量存储设备的迅猛增长, 客户迅速抓取屏幕图或波  
形数据, 然后带到别的地方变得前所未有的简便。
- **USB 即插即用**— SignalExpress 泰克版是泰克和 National  
Instruments 共同开发的软件, 提供了真正的 USB 即插即用  
PC 连接能力。
- **USB 打印机支持**—为大多数 HP 和 Epson USB 打印机提供  
了 USB 打印机支持。
- **TekVPI**— DPO2000、DPO3000、DPO4000 系列新的探头  
接口, 提高了客户的效率和经济性。

### ■ 主要选项

选项	说明
DPO2/DPO3/DPO4AUTO	CAN 和 LIN 总线触发和分析模块
DPO2/DPO3/DPO4EMBD	I <sup>2</sup> C 和 SPI 串行触发和分析模块
DPO2/DPO3/DPO4COMP	RS-232/422/485/UART 串行触发 和分析模块
DPO3VID/DPO 4VID	HDTV 和自定义(非标准)视频触发 模块
SIGEXPTE	NI SignalExpress 泰克专业版软件
TEK-USB-488	GPIB 到 USB 适配器
RMD2000/3000/RM4000	机架安装套件
DPO2CONN	在 DPO2000 上增加 10/100Base-T 和视频输出端口
各种服务选项	在标准的三年保修服务以外, 用户 可以选择多种校准、维修服务以及 校准数据报告服务

表三 DPO2000/DPO3000/DPO4000 系列便携式数字荧光示波器  
主要选项

## MSO2000、MSO3000 和 MSO4000 系列混合信号示波器 ——嵌入式设计首选全能调试工具



MSO2000、MSO3000和MSO4000系列混合信号示波器，提供了DPO系列的所有优点和特点，并且加入了16条集成式数字通道，可以在一台仪器上查看和关联模拟信号和数字信号。这种集成能力把触发功能扩展到了所有20条通道中，为调试模拟和数字混合设计提供了理想的码型触发和状态触发功能。

### 主要特点：

- 并行总线显示，可同时支持4组(MSO4000)或2组(MSO2000/MSO3000)总线
- 逻辑触发
- MSO4000的MagniVu™ 60.6ps技术提供了更精细的定时分辨率
- MSO4000的每条通道可单独设置门限
- 多通道建立时间和保持时间触发
- 下一代数字波形显示

### 应用：

- 嵌入式设计和调试
- 混合信号设计和调试
- 考察瞬时现象
- 功率测量
- 视频设计和调试
- 汽车电子

## MSO2000、MSO3000 和 MSO4000 系列混合信号示波器

### ■ 选型指南



■ P6516 探头提供了业界同类产品最好的连接和采集性能



■ 创新的显示帮助迅速调试电路

### P6516/P316 MSO 探头

每款 MSO4000 系列混合信号示波器标准配置 P6516 数字探头，这种独特的探头设计提供了两个 8 通道适配夹。每条通道末尾采用新型探头端部设计，包括一个隐藏式接地，简化了与被测设备的连接。这种时髦的新型探头简化了连接被测设备的过程。每个适配夹在第一条通道上的同轴电缆颜色为蓝色，识别起来非常简便。公共接地采用自动推进式连接器，可以简便地建立自定义接地，连接被测设备。在连接到方形引脚上时，P6516 有一个适配器，连接探头头部，与探头端部齐平延长探头接地，从而可以连接到头部引脚。P6516 提供了杰出的电气特点，而其应用的负荷只有 3pF。

同样，每款 MSO2000/3000 系列混合信号示波器标准配置 P6316 数字探头，也提供了两个 8 通道适配夹。P6316 可以直接连接标准 8\*2 方形引脚头，也可使用飞线束和抓斗以满足更灵活的连接要求。

### MagniVu™

MSO4000 系列上的主数字采集模式在 500 MS/s (2 ns resolution) 时可以捕获最多 10 M 个样点。除主记录外，MSO4000 还提供了一种超高分辨率模式，称为 MagniVu，在最高 16.5 GS/s (60.6 ps 分辨率) 时采集 10,000 个样点。每次触发时都会采集主波形和 MagniVu 波形，并可以随时进行切换，而不管示波器是正在运行还是已经停止运行。MagniVu 的定时分辨率较市场上任何其它 MSO 提高了近 10 倍，在数字波形上进行关键时间关系测量时，为用户提供了坚定的信心。

### 创新的数字波形显示

泰克一直致力于使混合信号示波器变得更加简便易用，MSO2000/3000/4000 系列重新界定了查看数字波形的方式。逻辑分析仪和混合信号示波器面临的一个共同问题是在放大得足够大，数字轨迹在显示屏上保持平坦时确定数据是 1 还是 0。MSO2000/3000/4000 为数字轨迹分配色码，用绿色显示 1，用蓝色显示 0。MSO2000/3000/4000 拥有多转换检测硬件。在系统检测到多转换时，用户会在显示屏上看到一个白色边沿。白色边沿表示通过放大或以更快的取样速率采集数据，可以获得更多的信息。在大多数情况下，放大可以揭示以前的设置下看不到的脉冲。如果在最大限度地放大后仍存在白色边沿，那么它表明在下次采集时通过提高取样速率，可以比前一个设置揭示频率更高的信息。与传统示波器相比，在 MSO 上设置通道通常要耗费大量的时间。这一过程包括探测被测设置，标记通道，确定通道在屏幕上的位置。MSO2000/3000/4000 简化了设置过程，允许用户对数字波形分组。通过简单地把一个数字波形放在另一个数字波形旁边，它们会形成一组。一旦形成一组，可以一起定位该组中包含的所有通道。这大大降低了与单独定位各条通道有关的普通设置时间。

## ■ 主要指标

(模拟通道指标同 DPO2000, 此处仅列出数字通道指标)

数字通道	MSO2012/MSO2014/ MSO2024
输入通道数量	16 条数字通道(D15- D0)
门限	每八条通道组一个门限
门限选择	TTL, CMOS, ECL, PECL 用户自定义
用户自定义门限范围	± 20V
最大输入电压	± 40 V
输入动态范围	80 Vpk-pk(取决于门限电平设置)
最小电压摆幅	500 mV
输入阻抗	101 kΩ
通道到通道偏移	2 ns 典型值
探头负荷	8 pF
最大采样率	1GS/s(在使用 D7-D0 时)或 500MS/s(在使用 D15-D8 时)
最大记录长度	1M
最小可检测脉宽	1.5ns

(模拟通道指标同 DPO3000, 此处仅列出数字通道指标)

数字通道	MSO3012/MSO3014/ MSO3032/ MSO3034/MSO3054
输入通道数量	16 条数字通道(D15- D0)
门限	每套 8 条通道设置单独门限
门限选择	TTL, CMOS, ECL, PECL 用户自定义
用户自定义门限范围	-15V 到 +25 V
最大输入电压	-20V 到 +30 V
输入动态范围	50 Vpk-pk (取决于门限电平设置)
最小电压摆幅	500 mV
输入阻抗	101 kΩ
通道到通道偏移	1 ns 典型值
探头负荷	8 pF
最大采样率(主)	500MS/s
最大记录长度(主)	5 M
最大采样率(MagniVu)	8.25GS/s
最大记录长度 ( MagniVu )	以触发点为中心 10K 样点
最小可检测脉宽	2.0 ns

(模拟通道指标同 DPO4000, 此处仅列出数字通道指标)

数字通道	MSO4032/MSO4034/ MSO4054/ MSO4104
输入通道数量	16 条数字通道(D15- D0)
门限	每条通道设置单独门限
门限选择	TTL, CMOS, 用户自定义
用户自定义门限范围	+5 到 -2 V
最大输入电压	± 15 V
输入动态范围	以门限为中心 6 Vpk-pk
最小电压摆幅	500 mV
输入阻抗	20 kΩ
通道到通道偏移	1 ns 典型值
探头负荷	3 pF
最大采样率(主)	500MS/s
最大记录长度(主)	10M
最大采样率(MagniVu)	16.5GS/s
最大记录长度(MagniVu)	以触发点为中心 10K 样点
最小可检测脉宽	1.5ns

表四 MSO2000/3000/4000 系列便携式混合信号示波器数字通道主要指标仪器选项同 DPO2000/3000/4000

## 基于 Windows 操作系统的示波器和分析仪

### ■ 选型指南

# 基于 Windows 操作系统的示波器和分析仪

DPO7000 系列通用型示波器、DPO70000B 系列高性能示波器和 DSA70000B 系列数字串行分析仪都是基于 Windows XP Pro 的独立式仪器。

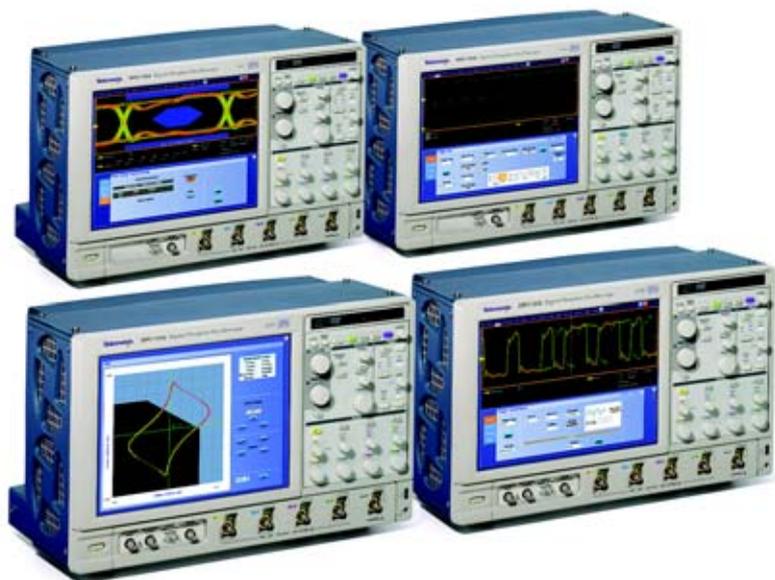
在 Windows 操作系统的支持下，测试设备的数据保存、分析和共享都更简单、更通用。

除此之外，泰克的该系列示波器和分析仪还提供了很多独有的功能，增强了仪器能力、提高用户的效率。

- 所有 DPO7000B、DPO70000B 和 DSA70000B 系列示波器使用相同的固件(firmware)，方便用户的升级
- 用户可控制增强带宽功能，帮助用户选择合适的带宽进行测试，减小了多于带宽带来的不必要影响；同时将系统性能校准至探头尖，用户不再需要繁琐的计算来估计系统带宽
- 安装 SignalVu 矢量信号分析软件，可以将示波器升级为矢量型号分析仪，为宽带、超宽带调制信号(宽带通信、雷达等信号)提供强大的分析工具
- MultiView Zoom、高级事件搜索和标记，简便管理和分析采集到的数据
- 用户可控触发增强功能，可将触发抖动减小至 100fs，触发灵敏度可提升至 20GHz
- 码型锁定触发功能，可以支持码型长度达  $2^{31}-1$ @6.25Gbps 的重复码型锁定，帮助工程师检查高速串行信号：移除随机抖动、评估码型相关抖动或码间干扰；定位引起模板违规的特定 bit；
- 12.1 英寸 XGA 显示、优化的交互式用户界面，使测试人员更易于操控仪器
- MyScope 用户自定义操作界面
- 集成于示波器线程内的高级分析套件，提供了无与伦比的分析速度和操作便捷性。与传统分析套件不同，集成于示波器线程的分析套件(如 DPOJET、DPOPWR)可以直接地利用操作系统资源，更快地获得分析所需数据，提供更直观、丰富的分析项目，同时更高效地得到测试结果
- 内嵌的计算机系统在 OpenChoice 体系支持下，用户可获得简便的二次开发环境；泰克还可免费提供数十个仪器控制插件，完成自动存盘、高级数据分析等功能；第三方公司提供的分析能力也可以方便地使用在泰克仪器上

## DPO7000 系列

### ——遥遥领先的通用型示波器解决方案



- 可选带宽 500MHz、1GHz、2.5GHz 和 3.5GHz
- 最高达 40GS/s 的采集速度
- 40M 标准配置内存深度，可扩展至 400M
- 连续提供波形捕获率高达 250,000 次 / 秒
- TekVPI™ 探头接口采用示波器与探头双向通信，提供了通用性和简便易用性功能强大的 PinPoint™ 触发系统，支持串行数据流时钟恢复及 NRZ 串行码型触发，分离码型相关的影响
- 低速串行协议触发(I<sup>2</sup>C, SPI, CAN, LIN)

## DPO7000 系列通用型示波器

### ■ 选型指南

#### 高采样率、长内存、高效率的通用型示波器

DPO7000系列数字荧光示波器，配备了业界同等级示波器最快的采集速度和最长的内存容量，使其成为业界性能价格比最高并且最容易使用的示波器。

#### 无可比拟的通用性——具备几乎所有高端示波器的能力

**通过 MyScope® 功能，创建自己的控制窗口，其中只包括您关心的控制功能、特性和功能**

**通过 OpenChoice® 软件，使用熟悉的分析工具量身定制测试测量系统**

#### PinPoint™ 触发系统，直接定位关心的细节

#### 在行业标准串行总线最相关的位序列上触发采集

- I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)触发是DPO7000系列示波器的标配功能，它包括启动条件、确认丢失、重启、数据读、地址和/或数据帧，采用10位或7位格式。
- SPI (串行外设接口)触发是DPO7000系列示波器的标配功能，包括在用户定义的帧内的数据码型上触发采集。
- CAN (控制器局域网)触发是一种选配功能(选项LSA)，包括同步任何CAN高信号或CAN低信号上CAN帧开头或结尾，对帧类型(数据, 远程, 错误, 过载)、标识符、数据、确认丢失和位填充错误触发采集。
- 根据新兴标准(如1080i, 1080p, 720p和480p)模拟HDTV/EDTV触发，及对NTSC、SECAM和PAL视频信号在场内任何行、所有行、所有场、奇数场或偶数场进行标准视频触发。此外，可以选择IRE和mV格线，更加简便地进行测量和目视检查。

#### 广泛的内置高级波形分析工具

- **测量和运算**—波形光标可以简便地测量轨迹到轨迹定时特点；连接YT显示模式和XY显示模式的光标则可以简便地考察相位关系和安全操作区越限情况。可以使用图形面板选择53种自动测量功能。通过平均值、最小值、最大值、标准偏差和样本总量等统计数据，可以进一步考察测量结果。对高级应用，还可以使用简便易用的计算器样式的编辑器，创建代数表达式，其中包括实际波形、参考波形、数学函数、测量值、标量和用户可调节变量。
- **FFT**—为在频域中分析信号，可以使用基本频谱(提供了最佳参数)，也可以使用高级频谱(直接控制频率跨度、中心频率和分解带宽)。
- **滤波**—通过创建自己的滤波器或使用仪器标配滤波器，增强用户分离或滤除信号中某些重要成分的能力(噪声或信号的特定谐波)。

## ■ 主要指标和选型指南

	DSO7054	DSO7104	DSO7254	DPO7354
通道数	4	4	4	4
带宽	500MHz	1GHz	2.5GHz	2.5GHz(模拟带宽)/ 3.5GHz(DSP 增强带宽)
上升时间, 10% – 90% (典型值)	460 ps	300 ps	160 ps	115ps(增强带宽打开) 145 ps(纯模拟响应)
上升时间, 20% – 80% (典型值)	310 ps	200 ps	100 ps	95 ps(纯模拟响应)
实时采样率(1ch Max)	10GS/s	20GS/s	40GS/s	40GS/s
实时采样率(2ch Max)	5GS/s	10GS/s	20GS/s	20GS/s
实时采样率(3到 4ch Max)	2.5GS/s	5GS/s	10GS/s	10GS/s
实时采样率 (1ch Max, 含选项 2SR)	20GS/s	40GS/s	N/A	N/A
实时采样率 (2ch Max, 含选项 2SR)	10GS/s	20GS/s	N/A	N/A
实时采样率(3到 4ch Max, 含选项 2SR)	5GS/s	10GS/s	N/A	N/A
等效采样率	4000GS/s			
标准配置存储深度	40M/20M/10M(1/2/3 到 4 通道)			
最大存储深度	200M/100M/50M(1/2/3 到 4 通道)		400M/200M/100M(1/2/3 到 4 通道)	
波形捕获率	>250000 次 / 秒			
DC 增益精度	± 1%			
输入阻抗	1M $\Omega$ 和 50 $\Omega$ (可切换)			
输入灵敏度	1mV ~ 1V/div(50 $\Omega$ ); 1mV ~ 10V/div(1M $\Omega$ )			
触发	边沿、视频、毛刺、脉冲宽度、欠幅脉冲、窗口、超时、转换速率、建立 / 保持时间违规、 码型、状态、通信、时间后触发、事件后触发。可选 64bit 串行触发和高达 $2^{31}-1$ 的码型同步 功能(适用于 DPO7254 和 DPO7354)、低速总线触发、通讯相关触发等			
特性	均标准配置五十余种自动测量功能; 频谱分析功能, 可设置频谱分析的中心频率、频谱跨度、 分辨率带宽等; 可自定义数学分析表达式			
说明	探头系统使用 TekVPI 接口			
注释	标配包含 4 根 500MHz 带宽的 P6139A 十倍衰减无源探头		可选硬件时钟恢复:1.5M ~ 1.25G 波特率	

表五 DPO7000 系列通用型数字荧光示波器主要指标

## DPO7000 系列通用型示波器

### ■ 选型指南



■ 高性价比的 TEKVPI 接口探头以及各种附件

### TekVPI™ 探头系统

- TAP3500 – 3.5 GHz TekVPI 有源单端探头系统
- TAP2500 – 2.5 GHz TekVPI 有源单端探头系统
- TAP1500 – 1.5 GHz TekVPI 有源单端探头系统
- TDP3500 – 3.5GHz TekVPI 有源差分探头系统
- TDP1500 – 1.5GHz TekVPI 有源差分探头系统
- TDP1000 – 1GHz TekVPI 高压差分探头系统
- TDP0500 – 500Hz TekVPI 高压差分探头系统
- TCP0030 – 100 MHz TekVPI AC/DC 30 A 电流探头
- TPA-BNC – TekVPI 到 BNC 接口适配器, 支持其它 TekProbell 型接口探头

### 其它配件

- AMT75 – 1GHz 75Ω 适配器
- P6701B – 500~950nm、1GHz 多模光电转换器
- P6703B – 1100~1650nm、1.2GHz 多模光电转换器

### ■ 主要选项

选项	说明
2RL	最大 80M 样点, 20M 每通道
5RL	最大 200M 样点, 50M 每通道
10RL	适用于 DPO7254 和 DPO7354: 最大 400M 样点, 100M 每通道
2SR	适用于 DPO7054 和 DPO7104, 双倍最大实时采样速率: DPO7104: 40 GS/s (1 通道), 20 GS/s (2 通道), 10 GS/s (3 通道或 4 通道) DPO7054: 20 GS/s (1 通道), 10 GS/s (2 通道), 5 GS/s (3 通道或 4 通道)
SVE	矢量系统分析软件 SignalVu 基本版
SVM	用于 SignalVu 的通用调制信号分析, 需要选项 SVE
SVP	用于 SignalVu 的高级信号分析软件, 包括脉冲分析套件, 需要选项 SVE
LSA	低速串行分析软件, 包括 CAN/LIN 触发、解码和分析软件
ET3	TDSET3 以太网一致性测试软件, 要求以太网测试夹具
USB	TDSUSBS USB2.0 一致性测试软件, 要求 TDSUSBF (USB 测试夹具)
MTM	串行通信模板测试套件
PWR	TDSPWR 功率测量和分析软件
ASM	高级事件搜索和标记软件
DJA	高级抖动、眼图和定时分析套件
DJE	基本抖动、眼图和定时分析套件
DDRA	DDR 内存总线分析(需要选项 DJA 和 ASM)
PS1	功率测量捆绑选项, 包括 TPA - BNC 适配器、探头校准和偏移校正夹具、P5205 高压差分探头、TCP0030 和选项 PWR
LT	极限测试套件
CP2	ANSI/ITU 通信脉冲一致性测量软件(需要选项 MTM)
UWB	超宽带频谱分析套件(适用于 DPO7254 和 DPO7354)
UWBE	超宽带频谱分析套件基本版(适用于 DPO7254 和 DPO7354)
RTE	串行数据一致性分析软件(适用于 DPO7254 和 DPO7354)
DVI	数字视频接口一致性分析软件(适用于 DPO7354)
J2	TDSDDM2 磁盘驱动器分析软件
L1	热敏打印机
服务选项	提供各种除标准维修服务外的多种服务选项, 包括校准和数据报告以及维修服务

表六 DPO7000 系列数字荧光示波器主要选项

## DPO/DSA70000 系列

——调试和验证的专家，从容面对挑战



DPO70000B和DSA70000B系列是新一代四通道实时数字荧光示波器，为迎接设计人员在检验、检定、调试和测试复杂的电子设计时面临的棘手信号完整性问题提供了业内最优秀的信号保真度和调试工具，为验证当前流行应用对于示波器多通道性能的要求提供了完美的解决方案。专用的DSA70000B系列数字串行分析仪为迎接高速串行设计挑战提供了完整的专用调试和验证手段。

### 决不妥协的流行应用解决方案

- 可选带宽从4GHz到8GHz，保证真正模拟带宽的同时用户还可打开DSP优化功能
- 卓越的高性能DPX™数字荧光采集技术，连续提供超过300,000次/秒的波形捕获能力
- 每通道独立的25GS/s的采样率
- 每通道独立的最高达100M的深存储能力(任何采样率下)
- 业界最优秀的信号保真度：最高的有效位数和最低的本底噪声
- 业界领先的小于450fs抖动噪声底，为抖动分析等提供高精度的定时保障
- 高保真度的TekConnect®探头接口技术，提供从2.5GHz到20GHz的单端或差分有源探头系统。保证示波器系统带宽(示波器+探头)仅受限于示波器和探头中带宽较低的一项，工程师不再需要使用冗长的公式来评估系统带宽特性。同时提供TekConnect®接口到BNC、SMA或N型连接器的转接适配器，满足不同系统连接的需求。另外，如果需要75欧姆测试系统(如3G-SDI测试)，则可选择泰克杰出的TCA-75接口适配器，以获得业界领先的最高8GHz的75欧姆测试系统带宽
- TekLink多台示波器同步触发，可支持2~4台DPO/DSA70000B示波器最多16条通道的同步数据采集
- 可升级带宽至20GHz，保护投资

## DPO/DSA70000 系列数字荧光示波器

### ■ 选型指南



■ P7500TriMode 探头简化了复杂的测试连接设置

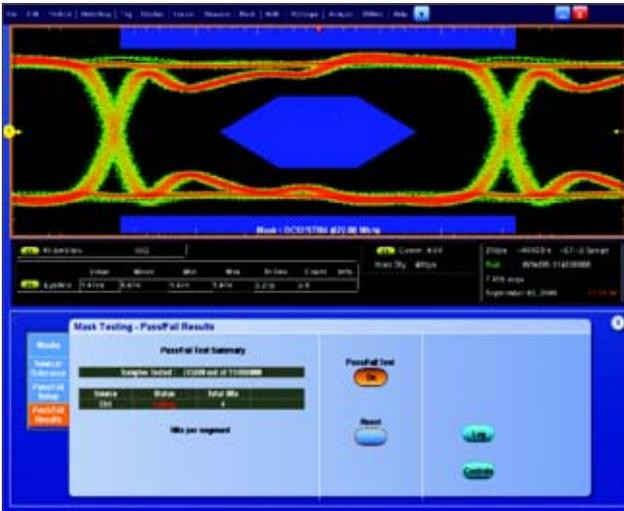
### 应用领域

- 高速信号完整性、抖动和时序分析，解码和协议触发
- 高速信号的检验、调试和验证
- 速率高达 4.25Gb/s 串行数据产品的设计开发及一致性测试
- 电信、数据通讯及局域网设备的调试和高速背板设计
- 瞬态现象和频谱分析
- 分析宽带 RF 信号

### ■ 主要指标和选型指南

	DPO70804B	DPO70604B	DPO70404B	DSA70804B	DSA70604B	DSA70404B
带宽	8GHz	6GHz	4GHz	8GHz	6GHz	4GHz
上升时间(10 ~ 90%)	49ps	65ps	98ps	49ps	65ps	98ps
上升时间(20 ~ 80%)	34ps	45ps	68ps	34ps	45ps	68ps
采样率	每通道 25GS/s					
最大存储深度	每通道 100M/ch					
最大波形捕获率	所有通道 >300000 次 / 秒					
触发	PinPoint 触发系统，提供超过 1400 种触发组合模式。触发灵敏度可达 2div@8GHz。可支持高达 64bit@1.25Gbps 的 NRZ 编码触发或 40bit@5G 的 8b/10b 编码数据触发；支持高达 6.25Gbps，长度达 $2^{31}-1$ 的码型同步锁定功能					
特性	每条通道标准配置 10M 存储深度			标准配置串行分析套件，包括： 通信触发、串行码型触发、 协议触发和解码、高级抖动 / 眼图 / 时序和一致性分析软件、 每通道 20M 存储深度		
通用测试能力	均标准配置五十余种自动测量功能；频谱分析功能，可设置频谱分析的中心频率、频谱跨度、分辨率带宽等；可自定义数学分析表达式；标准配置用户自定义 FIR 滤波器，可模拟均衡器等					
说明	所有型号均标注配置 4 个 TCA - 292(2.92 毫米连接器，与 SMA 兼容)，1 个 TCA - BNC 连接器；所有型号均支持用户可开关的 DSP 优化功能；计算机系统使用 Intel P4 3.4G 处理器，2G 内存，160G 可拆卸硬盘和光盘刻录机；12.1' XGA 触摸屏、支持双显示器；完整的外设接口，包括 5 个 USB2.0 端口和千兆以太网口					

表七 DSA/DPO70000B 系列高性能数字荧光示波器主要指标



■ 硬件时钟恢复支持标准通信模板的等效眼图测试，泰克业界独有

DPO/DSA70000B 以杰出的四通道性能，大大简化并加快了复杂系统设计工作。对于那些从事尖端电子设计的验证、鉴定和调试工作的设计人员而言，该系列示波器是业界最佳的解决方案，因为它的出现，一举克服了他们面临的信号完整性挑战。该系列示波器可提供高达8 GHz的真正模拟带宽、快达34 ps的上升时间(20%至80%)和每通道25GS/s的最大实时取样速率，所捕获的关键性事件，细节俱在，得来全不费功夫。

一枝独秀的DPX® 信号采集技术，可使波形捕获速度高达每秒300,000个，可在几秒或几分钟内，而不是几个小时或几天，迅速发现罕见的毛刺。创新性的软件解决方案可为高级分析和一致性测试提供所需领域的专业化功能，而OpenChoice® 体系结构则可使用户通过这一能力将其专业知识与之结合，用以轻松地编写定制程序，或使用流行商业软件。直观的图形用户界面可为熟练的用户提供高精能力，而偶尔使用示波器的用户，也能一望而知各项控制的功用，毫无眼花缭乱之感。



#### 泰克 P62xx、P72xx、P73xx 高性能有源探头系统

泰克 P62xx 系列有源探头系统，可以使用在 TekProbe 接口或带有 TCA-BNC 接口的所有示波器上，是性价比极高的通用探头系统解决方案；P72xx、P73xx 和 P75xx 系列探头系统，使用 TekConnect® 接口，适用于带有 TekConnect® 接口的 DPO/DSA70000B 系列高性能示波器，具有极佳的波形保真度和对被测电路最小的影响。

## DPO/DSA70000 系列数字荧光示波器

### ■ 选型指南

	P6243	P6245	P7225	P7240	P7260
探头类型	单端	单端	单端	单端	单端
接口类型	TEKPROBE	TEKPROBE	TekConnect	TekConnect	TekConnect
带宽	1GHz	1.5GHz	2.5GHz	4GHz	6GHz
输入电阻	1MΩ	1MΩ	40KΩ	20KΩ	20KΩ
探针样式	SMD 有源	SMD 有源	SMD 有源	SMD 有源	SMD 有源
说明	可配合 80A03 探头接口模块用于泰克取样示波器，或配合 RTPA2A 适配器用于泰克实时频谱分析仪				

表八 高性能有源单端探头选择向导

	P6247	P6248	P7340A	P7350SMA	P7360A	P7380A	P7380SMA
探头类型	差分	差分	差分	差分	差分	差分	差分
接口类型	TEKPROBE			TekConnect			
带宽	1GHz	1.7GHz	>4GHz	5GHz	>6GHz	8GHz	8GHz
输入电阻	200KΩ	200KΩ	100KΩ	单端 50Ω 对地、 差分 100Ω	100KΩ	100KΩ	单端 50Ω 对地、 差分 100Ω
探针样式	SMD 有源	SMD 有源	Tip-Clip/ HHA	SMA	Tip-Clip/ HHA	Tip-Clip/ HHA	SMA
说明	在 DPO/DSA70000 系列上使用须配合 TCA-BNC		Tip - Clip 探针均标准配置焊接附件和手持式附件；可配合 80A03 探头接口模块用于泰克取样示波器或 RTPA2A 适配器用于泰克实时频谱分析仪				

	P7504	P7506	P7508
探头类型	三模探头，一次连接，可测试单端、差模和共模三种信号		
接口类型	TekConnect		
带宽	>4GHz	>6GHz	>8GHz
输入电阻	100KΩ		
探针样式	泰克提供三模焊接附件、环境测试附件、手持式点测附件等十几种探针样式		
说明			

表九 高性能有源差分探头选择向导

## ■ 主要选项

选项	说明	DPO70804	DPO70604	DPO70404	DSA70804	DSA70604	DSA70404
2XL	每通道 20M 内存	√	√	√	标配	标配	标配
5XL	每通道 50M 内存	√	√	√	√	√	√
10XL	每通道 100M 内存	√	√	√	√	√	√
ASM	高级事件搜索和标记	√	√	√	标配	标配	标配
DJA	高级抖动、眼图和定时分析套件	√	√	√	√	√	√
DDRA	DDR 内存总线分析软件 (需要选项 DJA)	√	√	√	√	√	√
SLA	串行数据链路分析软件, 带均衡功能	√	√	√	√	√	√
SLE	串行数据链路分析软件, 不带均衡功能	√	√	√	√	√	√
JE3	基本抖动分析软件	√	√	√	标配	标配	标配
JA3	高级抖动分析软件	√	√	√	标配	标配	标配
PTH	最高可达 3.125Gbps 的 协议触发和解码软件	√	√	√	标配	标配	标配
PTU	最高可达 5Gbps 的 协议触发和解码软件	√	√	√	N/A	N/A	N/A
STU	最高可达 5Gbps 的 协议触发和解码软件	N/A	N/A	N/A	√	√	√
RTE	串行数据一致性测试和 分析软件	√	√	√	标配	标配	标配
PCE	用于 TDSRT-Eye 的 PCIExpress 一致性分析模块	√	√	√	√	√	√
SST	用于 TDSRT-Eye 的 SATA 和 SAS 一致性分析模块	√	√	√	√	√	√
FBD	用于 TDSRT-Eye 的 FB-Dimm 一致性分析模块	√	√	√	√	√	√
IBA	用于 TDSRT-Eye 的 InfiniBand 一致性分析模块	√	√	√	√	√	√
MTH	串行模板测试	√	√	√	标配	标配	标配
SVE	矢量信号分析软件 SignalVu 基本版	√	√	√	√	√	√
SVM	用于 SignalVu 的 通用调制信号分析软件	√	√	√	√	√	√
SVM	用于 SignalVu 的高级信号分析 软件, 包括调制脉冲分析套件	√	√	√	√	√	√
DSPL	DisplayPort 一致性 分析软件, 需 DPOJET	√	N/A	N/A	√	N/A	N/A
ET3	以太网一致性测试软件, 建议购买测试夹具	√	√	√	√	√	√
USB	USB2.0 一致性测试软件, 建议购买测试夹具	√	√	√	√	√	√
PWR	功率测量和分析软件, 建议同时选择 2XL 和一支 TCA - 1MEG 缓冲放大器	√	√	√	√	√	√
HT3	HDMI 一致性分析软件	√	√	√	√	√	√
DVI	DVI 一致性分析软件	√	√	√	√	√	√
UWBE	超宽带频谱分析软件	√	√	√	√	√	√
UWB	超宽带频谱分析和 WiMedia 分析软件	√	√	√	√	√	√
LT	波形极限测试软件	√	√	√	√	√	√

表十 主要测试选项选型指南

## DPO/DSA71000B、DPO/DSA72000B 系列数字荧光示波器

■ 选型指南

# DPO/DSA71000B、DPO/DSA72000B 系列

——以超高性能应对最尖端测试应用



### 对尖端应用的测试需求提供无人能及的保障

- 全球最高的全通道带宽，有 20GHz、16GHz、12.5GHz 供选择
- 每通道 50GS/s 的采样率
- 每通道 250M 存储深度
- 用户可选则打开或者关闭的DSP带宽扩展(DPO/DSA72004B)和频响校正功能
- 业界最佳的信号保真度：最高的 ENOB 和最低的本底噪声
- 基于遥遥领先的 DPO 平台，最快超过每秒 300000 次的波形捕获率。为最尖端设计提供调试和验证保障
- 低至 300fs 的抖动噪声基底，为抖动、定时分析等提供最高精度的保障
- 业界最高性能的 PinPoint™ 触发技术，高达 5Gb/s 的串行码流触发
- 完整的满足标准规范的软件解决方案
- MyScope™ 自定义操作界面
- 创新的 TriMode® 三模系列探头，用一根探头即完成差分、单端和共模测试，而且该过程中无需更换任何探头附件
- TekConnect® 探头接口技术，提供高达 20GHz 的探测能力
- TekLink 多台示波器同步触发，可支持 2~4 台 DPO/DSA70000B 示波器最多 16 条通道的同步数据采集
- 可升级带宽，保护投资



■ 直接在射频上捕获和分析超宽带脉冲雷达信号

### 高速信号的探测、捕获、分析、一致性检验和调试

DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 系列最大特点是提供了目前业内最强大的整体系统性能，即示波器最关键的几个指标：带宽，采样率，高速存储长度，触发系统能力和信号保真度，这些关键指标相互匹配，使仪器整体性能发挥到及至；另一个特色为它是唯一既支持当前业内标准的传统测试方法，同时对于未来新的测试方法也提供了全套的解决方案的产品。在各种标准化组织推荐的示波器中，泰克 DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 和相应测试套件已经成为计算机产业事实的标准测试工具。

DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 系列数字存储示波器提供了前所未有的性能和完备的功能，这套功能旨在解决下一代计算机、数据通信和通信设备的设计验证、调试和一致性检验的挑战。同时，超高带宽、超高采样速率和深存储还为诸如激光脉冲、高能物理信号、直至 Ku 波段的射频信号采集等应用提供了理想的解决方案。

### 无可比拟的信号保真度

您无需为串行数据测量和分析需求而牺牲带宽、记录长度或取样速率。对于您所需要的采集能力，DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 都能提供完全独立的全通道性能。它们具备了带宽、取样速率和记录长度之间决无折衷的组合，用以测试最快的信号。通过使用泰克专有的 DSP 增强功能，DPO/DSA72004B 可以在所有通道上提供完全匹配的 18GHz 或 20GHz 带宽性能，这对对高速信号进行通道内和通道间的测试异常重要。每条通道上的用户可选的 DSP 滤波器，可提供频率响应的幅度和相位校正，还可以将模拟带宽扩展到 20GHz，以便针对高速测量获得更精确的信号保真度——即轻松捕获在下一代 8Gb/s 串行数据标准中使用的 4GHz 嵌入式时钟的第五次谐波，甚至是正为将来系统开发的 12.5Gb/s 信号基频三次谐波。

经过精密设计的模拟前端提供了业界最优秀的本底噪声和高于 5.4bit@13GHz 的有效位，保证最优呈现信号原貌。

对于那些力求原始样点的应用，您也可以关闭每条通道上的 DSP 滤波器，以使用实际的高达 16GHz 模拟带宽。

## DPO/DSA71000B、DPO/DSA72000B 系列数字荧光示波器

### ■ 选型指南



■ TriMode 探头提供多种接入方式

### 创新的 P7500 系列 TriMode™ 高性能探头系统

新的 P7500 探头系列具有超高信号保真度,快速上升时间和较低电路负载,由此定义了行业最新带宽标准。采用独特 TriMode™ 测量切换技术和新的“针头”式设计的新型 P7500 型探头和超高速实时示波器将相结合,将成为下一代串行数据测试平台的组成部分,而此平台将赋予研发工程师足够的力量来调试和验证速率高达 10Gbit/s 的高速串行数据回路。

#### TriMode 探测

TriMode 探测技术可以使工程师无需改变探头接入点就能在差分、单端和共模测量模式之间切换,满足了以往产品未能满足的市场需求。采用该技术,用户可以同时探测三个点,且通过一个探头和一次设置就可完成三种不同的测量模式(而不是目前所必需的多个探头或多次连接、设置),因而能够显著提高工程师的工作效率。

### 更简便的连接

由于芯片上可供连接探头的空间越来越小,工程师们通常很难将探头连接到被测设备上。而 P7513A、P7516 和 P7520 探头的主体采用的紧凑设计能令用户即使是在极为狭小的空间内也能连接数个探头。

此外的几项全新功能也有效改进了 Z-Active™ 探测架构的效率。可更换探针模块采用了微型焊入式探头尖,可更换的延长电缆亦有助于探头连接到难以探测的区域或环境实验箱,新型手持式探针模块设计有利于探头方便地同固定设备或者手持式设备配合使用。这一设计也使装有该针头模块的 P75xx 成为能同时进行手持式和固定式探测的高阻抗有源探头,其最高带宽可达 20 GHz。



■ P75 系列探头提供多种可替换前端连接方式应对不同测试需求

### 应用领域

- 尖端的高速信号完整性、抖动和定时分析
- 下一代高速数字设计的调试、验证、性能和一致性检验
- 下一代计算机、数据通信、存储区域网设备和高速背板设计
- 直到 Ku 波段的射频，包括超宽带，雷达，卫星通信信号测试和分析
- 高能物理，高速脉冲信号测量和数据采集

## DPO/DSA71000B、DPO/DSA72000B 系列数字荧光示波器

### ■ 选型指南

#### ■ 主要指标和选型指南

	DPO72004B	DPO71604B	DPO71254B	DSA72004B	DSA71604B	DSA71254B
模拟带宽	16GHz	16GHz	12.5GHz	16GHz	16GHz	12.5GHz
DSP 增强带宽	两种选择 18GHz 或 20GHz	16GHz	12.5GHz	两种选择 18GHz 或 20GHz	16GHz	12.5GHz
上升时间(10~90%)	19ps	24.5ps	32ps	19ps	24.5ps	32ps
上升时间(20~80%)	14ps	17ps	22ps	14ps	17ps	22ps
采样率	每通道 50GS/s					
最大存储深度	每通道 250M					
最大波形捕获率	>300000 次/秒					
触发	PinPoint 触发系统, 最小脉冲宽度 150ps。可支持高达 64bit@1.25Gbps 的 NRZ 码触发或 40bit@5G 的 8b/10b 编码数据触发; 支持高达 6.25Gbps, 长度达 $2^{31}-1$ 的码型锁定同步功能					
特性	每条通道标准配置 10M 存储深度			标准配置串行分析套件, 包括: 通信触发、串行码型触发、协议触发和解码、 高级抖动/眼图/时序和一致性分析 软件、每通道 20M 存储深度		
通用测试能力	均标准配置五十余种自动测量功能; 频谱分析功能, 可设置频谱分析的中心频率、频谱跨度、分辨率带宽等; 可自定义数学分析表达式; 标准配置自定义 FIR 滤波器, 可模拟均衡器等					
说明	所有型号均标注配置 4 个 TCA - 292(2.92 毫米连接器, 与 SMA 兼容), 1 个 TCA - BNC 连接器; 所有型号均支持用户可开关的 DSP 优化功能; 计算机系统使用 Intel P4 3.4G 处理器, 2G 内存, 160G 可拆卸硬盘和光盘刻录机; 12.1' XGA 触摸屏、支持双显示器; 完整的外设接口, 包括 5 个 USB2.0 端口和千兆以太网口					

表十一 DPO/DSA71000B、72000B 系列主要指标

#### ■ 探头选择指南

说明: 下表仅列出带宽在 12.5GHz 以上的探头, 这些高性能探头也可使用在上一章所推介的 DPO/DSA70000B 系列上。而表八、表九中 DPO70000B 所推荐探头亦可用在 DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 系列上。

	P7313	P7313SMA	P7513A	P7516	P7520
探头类型	差分	差分	TriMode	TriMode	TriMode
接口类型	TCA	TCA	TCA	TCA	TCA
带宽	>12.5GHz	>13GHz	>13GHz	>16GHz	>20GHz
输入电阻	100KΩ	单端 50Ω 对地、 差分 100Ω	100KΩ	100KΩ	100KΩ
探针样式	Tip-Clip 和手持式	SMA	三模焊接附件、环境测试附件、 手持式点测附件等十几种探针样式		
说明	Tip - Clip 探针均标准配置焊接附件和手持式附件; 所有 P7000 系列探头可配合 80A03 接口模块用于泰克取样示波器或 RTPA2A 适配器用于泰克实时频谱分析仪				

表十二

#### ■ 关于选项

上章表中所有选项均适合于 DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 系列, 下列选项为 DPO/DSA71000B 和 DPO/DSA72000B 系列独有。

选项	说明	DPO72004B	DPO71604B	DPO71254B	DSA72004B	DSA71604B	DSA71254B
20XL	每通道 250M 内存	√	√	√	√	√	√

表十三

## 主要测试和分析软件方案

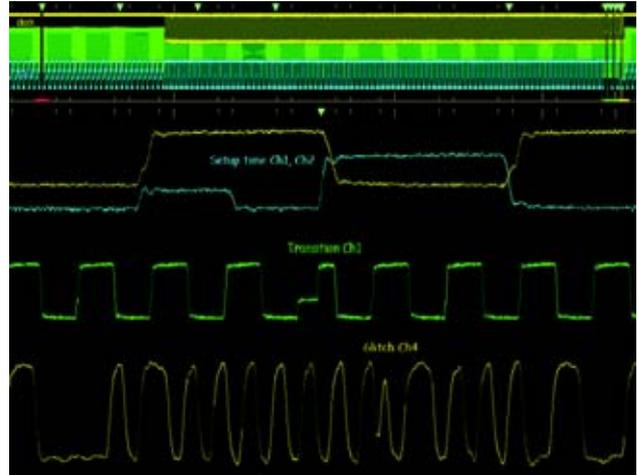
示波器作为非常通用的仪器，能够完成各种标准测量任务。但是，通过使用应用模块、软件和升级系统，可以把示波器转换成高度专用的、强大的分析工具。作为示波器行业的第一大厂商和一致性测试的专家，泰克示波器不仅提供最杰出的信号保真度，同时提供了杰出的软件解决方案，可以为您的示波器配备特定的技术和程序知识，大大简化专用设计的开发和测试工作。

泰克示波器可以转换成有针对性的工具，进行标准抖动和定时分析、计算机总线标准测试、通信标准测试、内存测试、功率测量、汽车总线测试、磁盘驱动器测量、宽带无线通信和雷达信号测试、数据捕获 / 分析 / 存档等等。

### 事件搜索和标记软件 ASM

ASM 软件可以完成多种特定事件，如毛刺、欠幅脉冲、转换时间违规、建立和保持事件违规、超时、窗口违规和逻辑事件等的搜索、标记和分析。用户通过直观的图形界面操作，可以方便地在多个通道内搜索多种这些事件，自动得到各种事件发生次数、每个事件的特征和相互之间的时间关系，并通过标记便捷地快速查看这些事件的详细情况。

通过“stop acquisition if event found”(当事件出现时停止采集)功能与 Pinpoint 触发系统的配合，还可以简便地实现“两级硬件 + 软件”的“三级触发”能力。



Results: Counts

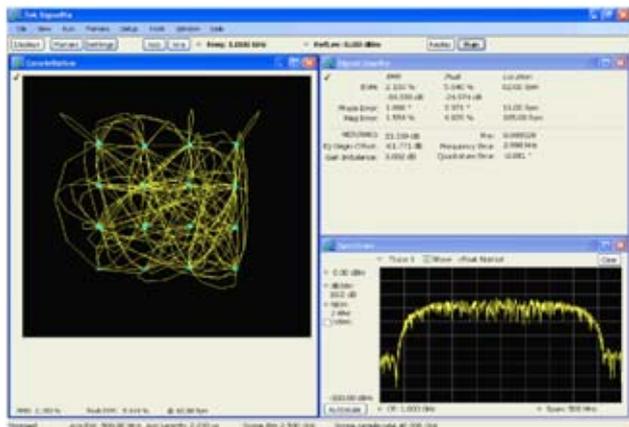
	Type	Source	Count
1	Setup/Hold	Ch 1,Ch 2	1
2	Runt	Ch 1	9
3	Transition	Ch 1	4
4	Timeout	Ch 1	9
5	Glitch	Ch 4	5

Results: Mark Table

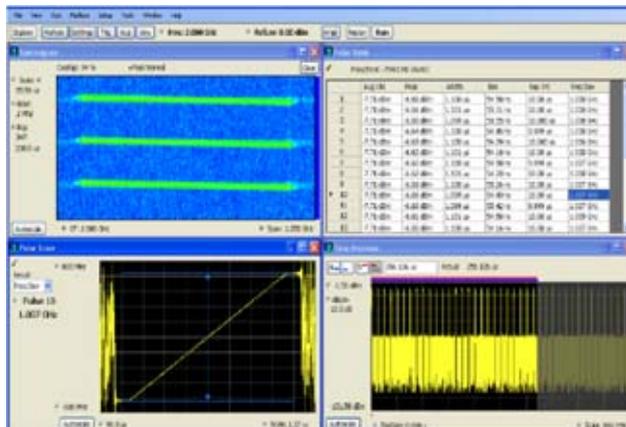
Index	Type	Src	Location	Time Delta					Description
				sec	ms	us	ns	ps	
Z1	1	Setup/Hol	C2	-600ps					-Clk Setup violation: 600ps
Z2	2	Transition	C1	-444.96ns	000	000	000	444.960	+/-Transition time=5.44ns
Z2	3	Transition	C1	-304.92ns	000	000	000	140.040	+/-Transition time=5.52ns
Z2	4	Transition	C1	-164.92ns	000	000	000	140.000	+/-Transition time=5.52ns
Z2	5	Transition	C1	-44.96ns	000	000	000	119.960	+/-Transition time=5.4ns
Z3	6	Glitch	C4	-15.734us	000	000	015	689.280	+/-Glitch width=120ps
Total Marks: 10				ΔZ1,Z2	000	000	000	304.000	
				ΔZ2,Z3	000	000	015	472.000	
				ΔZ1,Z3	000	000	015	738.000	

## 主要测试和分析软件方案

### ■ 选型指南



■ SignalVu 用于通用数字调制信号分析



■ SignalVu 用于脉冲雷达信号分析

### 矢量信号分析软件 SignalVu

SignalVu 是 DPO7000 和 DPO/DSA70000B 系列数字示波器使用的一种集成应用软件。用户可以简便地在 SignalVu 软件和示波器用户界面之间切换，优化宽带数据采集工作。

SignalVu 矢量信号分析软件帮助您轻松验证宽带设计，检定宽带频谱事件。通过把 RSA6100A 实时频谱分析仪的信号分析引擎与业内带宽最宽的数字示波器结合起来，设计人员现在能够评估带宽高达 20 GHz 的复杂信号，而不需使用外部下变频器。

您可以在一台仪器中，同时获得矢量信号分析仪功能、频谱仪功能和数字示波器强大的触发功能。不管您需要验证宽带雷达设计、高数据速率卫星链路设计还是跳频通信设计，SignalVu 矢量信号分析软件都能显示这些宽带信号随时间变化的行为加快对这些信号分析的时间。

### 触发

- 集成 RF 信号分析软件包可以全面利用示波器设置
- Pinpoint 触发功能提供了 1400 多种组合，几乎满足了任何触发情况

### 捕获

- 直接观察高达 20 GHz 的微波信号，而不需外部下变频器
- 在一个采集带宽内 (最高可以到 20GHz 的示波器模拟带宽) 就可以把所有的信号采集下来并存储到示波器的深存储器中
- 量身定制示波器采集参数，有效利用捕获存储器
- 四通道采集，帮助您关联彼此独立的 RF 事件
- 允许用户对采集通道应用自定义数学运算和滤波分析
- 全面的时间相关多域显示，把时间、频率、相位和幅度关联起来，在调试时更快地了解问题成因和影响
- 电源测量和信号统计，帮助您检定元件和系统: ACLR、多载波 ACLR、功率随时间变化、CCDF、OBW/EBW 和杂散信号搜索
- 高级信号分析套件(SVP) – 自动执行调制脉冲测量，包括上升时间、脉宽和脉冲到脉冲相位，深入了解脉冲串行为
- 通用数字调制分析(SVM)，提供矢量信号分析仪功能



■ 抖动、定时和眼图分析

## 高级抖动、眼图和定时分析套件 DPOJET

DPOJET 是 Tektronix 基于 DPO7000/7000B 系列示波器的抖动和高精度时间测试分析软件，并且能够完成通用目的的极限测试。此款软件融合了多种传统分析工具，提供丰富的分析功能和一致性测试功能。其主要特点有：

- 简单易用
- 测试精度高
- 测试速度快
- 测试内容丰富
- 分析功能强大

DPOJET 针对于传统的测量平台的局限性，提供许多独特的改进：

- 当选择单键测量功能时，优化了 Autoset 算法，最优化设置采样率、垂直档位和采集内存，提高的测量精度
- 自动探测连接的通道、自动探测信号类型(时钟 / 数据)
- 四通道可以同时进行抖动测试
- 支持两种抖动分析模型：Tektronix 专利的频谱模型和双迪拉克(Dual Dirac, PCIe 等规范指定的抖动模型)模型，满足不同客户对高精度抖动的苛刻要求
- 支持当前最灵活的时钟恢复的方式，支持各种高速串行总线标准的时钟恢复以及自定义模式时钟恢复
- 为了定位和隔离特定的抖动分量，提供各种抖动测量时的滤波器，提高测量精度到 fs 量级；测量抖动调制效应，如 SSC 等
- 直接通过光标在带内进行相噪测试
- 支持对任意码型的高速串行信号进行 Rj/Dj 分离，快速定位故障点，分析故障原因
- 支持各种串行总线标准和自定义的模板和 Pass/Fail 测试
- 数据和测试结果方便的生成报告(mht 格式, pdf 格式)
- 自动记录测试、统计的日志文件
- 更加直观的操作界面，和示波器软件界面一致。只要您会使用示波器，您就可以轻松完成抖动和眼图测试的操作
- 完全支持 GPIB 远程控制

## 主要测试和分析软件方案

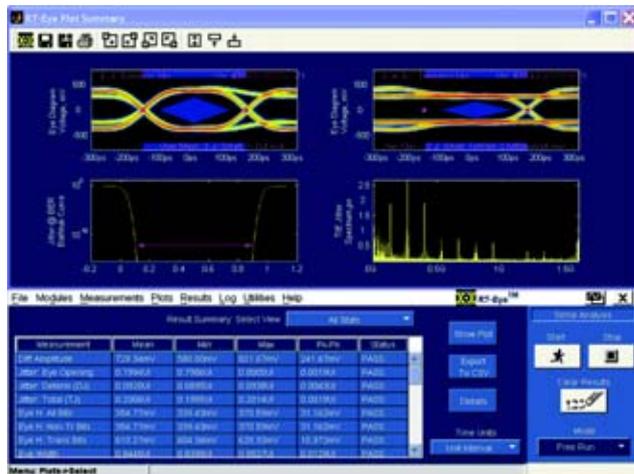
### ■ 选型指南



### 抖动和定时分析软件 TDSJIT3 V2

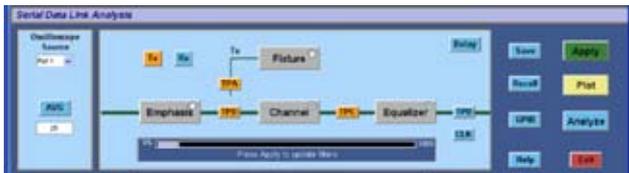
TDSJIT3 V2系列软件根据高速行业标准执行抖动和定时分析及全面的余量定时分析，如 InfiniBand、FC、PCI-Express、FBD 和 DDR。TDSJIT3V2 包括 Rj/Dj 分析及 BER 估算功能。TDSJIT3 系列软件使用业界公认权威组织 T.11 的算法 MJSQ (Methodologies for Jitter and Signal Quality Specification)，并且泰克的 TDSJIT 系列软件是 T.11 唯一推荐的实时示波器抖动测量解决方案，能为工程师提供业界最精确的抖动和定时测量结果。

除了各种经典参数以外，TDSJIT3 V2 还提供相位噪声、抖动传输函数等高级分析功能



### 高速串行数据测试和分析软件：TDSRT-Eye V2

RT-Eye 串行数据一致性测试和分析软件在与 DPO7000/DPO70000 系列高性能示波器及适当的探头结合使用时，为串行数据总线的模拟检验和一致性测试提供了完整的解决方案。您可以根据需要选择专用测试模块，这些模块包括：InfiniBand 一致性测试模块、PCIExpress 一致性测试模块、SATA/II、SAS 分析模块和 FB - DIMM 分析模块。并且 TDSRT - Eye 系列软件包含泰克领先的抖动和定时分析功能，能够提供最全面实时眼图和串行数据质量分析。



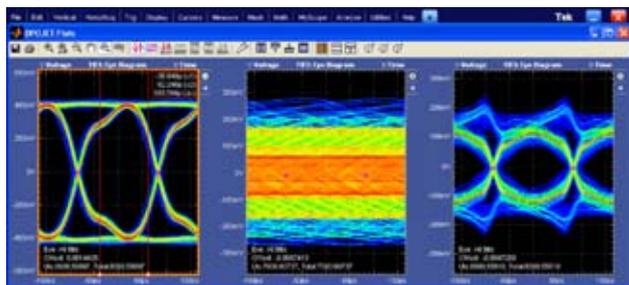
■ 在 SDLA 中加入需要仿真的信号链路组件



■ 设置链路组件参数

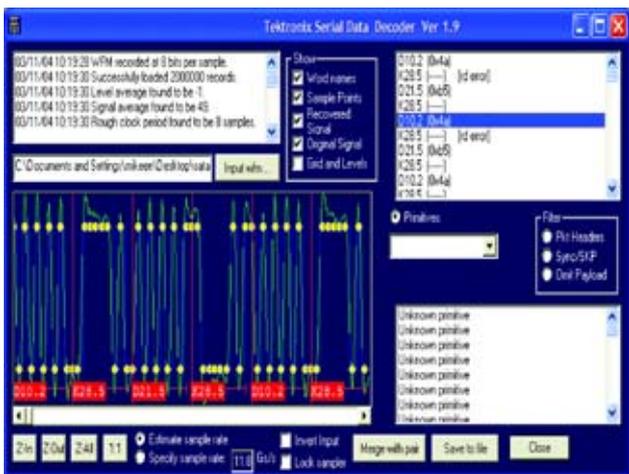
## SDLA 高级串行数据链路分析软件

SDLA ( SERIAL DATA LINK ANALYSIS ) 软件针对当前最新的高速串行信号，如 USB3.0, SAS 和 SATA, 或其它传输速率达到数 Gbps 的标准，提供了全面的链路仿真和分析工具。在分析工具可以对测试夹具、去加重/预加重、传输通道和均衡器等模型进行仿真，以实现去掉夹具影响、确定预加重/去加重效果、模拟接收端均衡等高级分析。



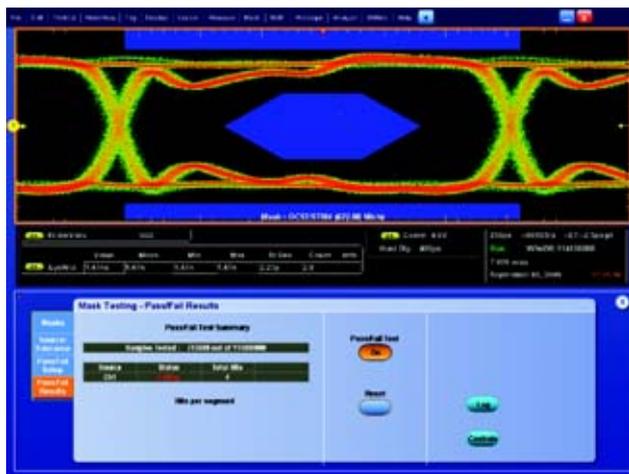
■ 发送端和接收端的原始信号测试结果以及经过均衡后的信号模拟结果

DPO/DSA70000 系列示波器平坦的幅频特性、线性相位响应和极低的抖动噪声为 SDLA 分析软件提供了极佳的信号采集平台。



## 高速串行数据协议触发及解码软件 TDSPTD

TDSPTD 提供业界第一个集协议解码和触发功能于一体的示波器解决方案。它能在 DPO70000B 系列示波器上实现高达 5Gbps 的串行码流上实现 40bit 的编码数据触发，可按 SATA I/II、PCIExpress、FC2500 宏文件或通用 8b/10b 编码表等进行协议解码和触发。

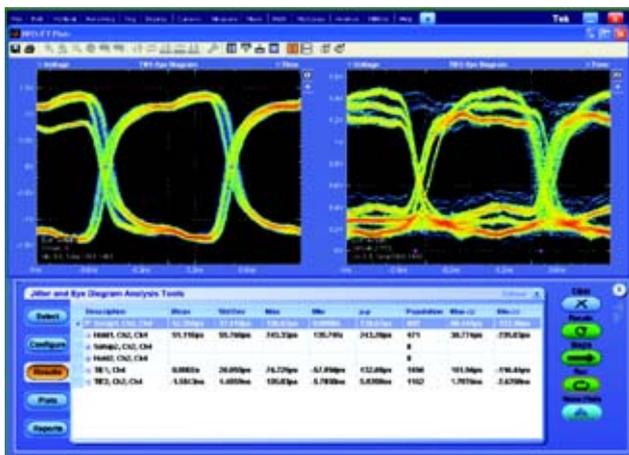


## 模板测试和分析

业界唯一的实时示波器等效眼图测量工具和模板测量，提供最高达 3.125Gb/s 的硬件 Golden PLL 时钟恢复 (最高可通过毛刺触发支持到 4.25Gb/s 的通信触发)，支持超过 150 种标准模板测试。用户还可以根据需要定义模板容限大小，从而进行极限测试功能等。

## 主要测试和分析软件方案

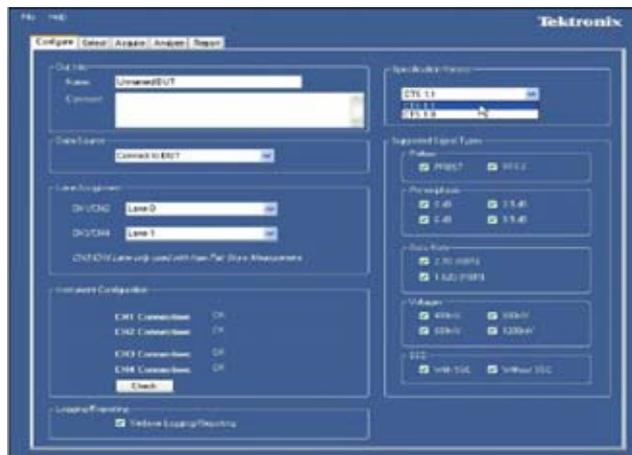
### ▶ 选型指南



### DDR 内存总线信号分析软件 DDRA

DDRA是基于实时数字荧光示波器和DPOJET的高速DDR内存总线接口的验证工具，它提供：

- 支持LP-DDR、DDR1、DDR2、DDR3和GDDR3
- 覆盖几乎所有常用JEDEC测试
- 定时、幅度、眼图测量
- 抖动、直方图、摆率等多种眼图分析工具，并且可以同时进行多通道眼图分析
- 自动识别所有的读或写操作
- 直接在DQ、DQS上触发以分离读写状态
- 自动识别信号电平和数据速率
- 可靠性强、可重复性高
- 多种显示和绘图选择——趋势分析、pass/fail测试
- 自动生成报告



### DPODSPT DisplayPort 一致性测试软件

DPODSPT 使用在 DPO/DSA70000/B 系列示波器上，提供了完全自动化的源端物理层一致性测试解决方案，符合 VESA 一致性测试标准 V1.0 和 V1.1。

DPODSPT 建立在 DPOJET 的分析能力上，所以需要示波器安装 DPOJET 抖动、眼图和时序分析套件。它可以根据被测件自动选择标准规定的必要测试，用户也可手动添加其它测试项。用户还可以只选择关心的单个测试项或完整测试的某些子项。

当使用泰克 DP-AUX (DisplayPort Auxiliary Controller) 时，DPODSPT 通过直接与被测件通信并调用所有的相关参数设置，可以完全自动地完成一致性测试。



### 以太网一致性分析软件 TDSSET3

TDSSET3 以太网一致性测试软件提供了一系列包括回波损耗在内的全面测试，并具有完整的解决方案，包括精心设计的测试夹具，实现了前所未有的效率。

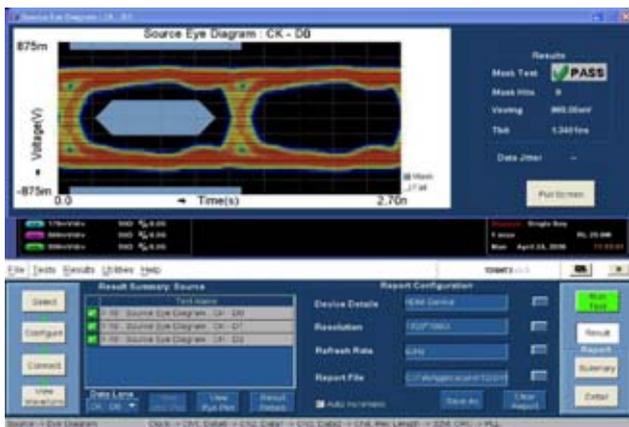
TDSSET3 满足了广泛的 10BaseT、100Base-TX 和 1000BaseT 技术测试需求。测试系列包括各种核心 PMA 和 MDI 测试，如模板、失真、回波损耗、抖动、共模电压等等。无可比拟的自动化功能加快了检验速度，包括生成报告等繁琐任务。用户只需按一个键，就可以生成摘要或详细的报告。



### USB 一致性测试软件 TDSUSB2

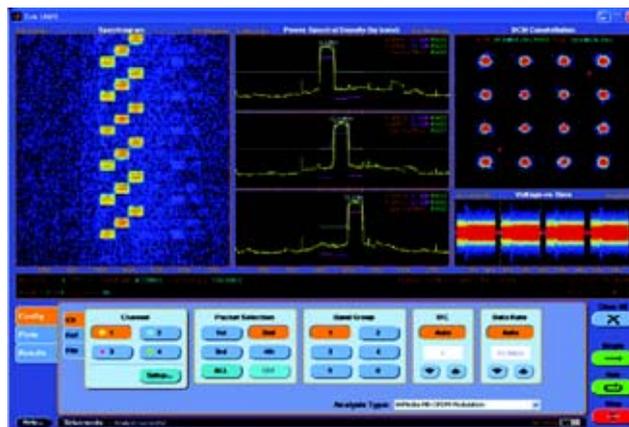
TDSUSB2 消除了麻烦地手动设置示波器的过程，为各种测试提供了预先定义的示波器设置。用户可以迅速执行所有 USB-IF 推荐的测试，如低速、全速和高速器件和集线器的眼图和参数测试。还配备有完善的测试夹具支持各种测试。

测试结果将迅速证明测试合格/不合格，使得 TDSUSB2 成为 USB 2.0 物理层检验的首选解决方案。通过提供与执行的测试有关的统计信息，可以实现深入分析。用户定义的测量极限还有助于在设计上执行容许误差测试。



### HDMI 一致性测试软件 TDSHT3

设计和检验器件 HDMI 物理层的工程师一直面临着改善效率的压力。工程师必需在工作台上，迅速可靠地执行一系列一致性测试。TDSHT3 HDMI 一致性测试软件自动进行针对 Source、Cable 和 Sink 的全系列示波器测试，以前所未有的效率获得符合 HDMI 标准和测试规范测量结果(支持目前为止所有的规范版本)。



### 超宽带测试解决软件 TDSUWB

泰克推出的 TDSUWB 为 WiMedia 信号提供了一键测试功能，通过这一功能，用户可以进行高效调试和 WiMedia UWB (MB - OFDM) 系统 RF 一致性测试，其中包括解调 RF 波形以及通过星形图、E.V.M、功率谱密度(PSD)、ACPR(邻信道功率比)测试和频谱图等测试指标实施 RF 信号质量的测试。

TDSUWB 可以自动识别时间频率码(TFC)——即操作频率以及跳频序列，并且能够从 RF 波形中自动识别数据率，从而为用户带来了空前的便利。在测试中所搜集的 TFC，数据率以及频段组等信息并整合到一起，以标准的 csv 格式储存，这也为 RF 测量的结果归档提供了便捷迅速的途径。

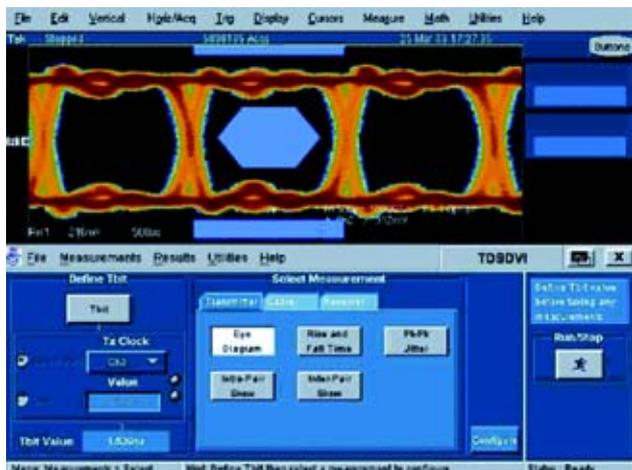
## 主要测试和分析软件方案

### ■ 选型指南



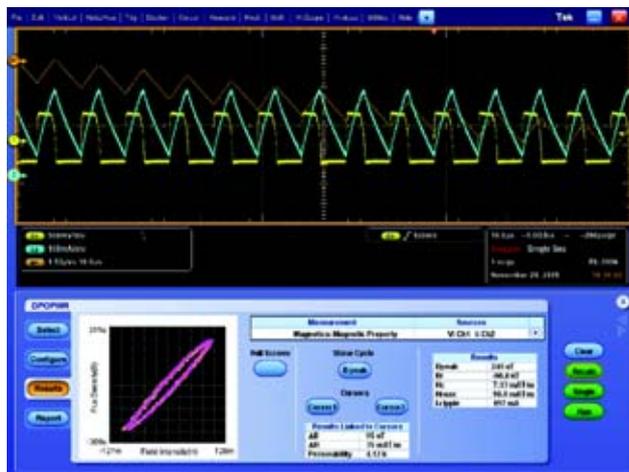
### 汽车总线测试套件 TDSVNM

TDSVNM提供了CAN总线和LIN总线的定时和协议解码分析功能。它能同步解码具有CAN和LIN总线的控制网络，测试网络间的传输准确性和错误容限。通过测试晶振容限和传输延迟来定位网络同步故障。通过集成的搜索功能实现在数据链路层上的故障调试。通过CAN信号的眼图测试，能分析抖动、幅度失真和毛刺等引起的CAN数据包上的噪声。能用复杂的触发条件定位信号的特征和故障。



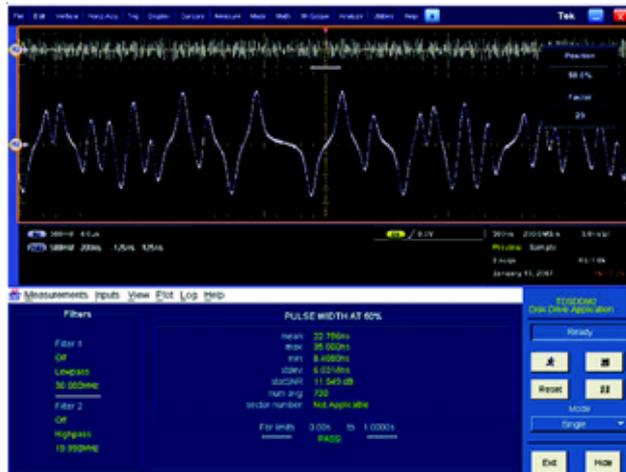
### DVI一致性测试软件 TDSVMI

TDSVMI是业内第一个一致性测试工具，它与DPO70000或DPO7354系列示波器相结合，增强了测试效率，加快了检验周期，为根据标准进行一致性测试提供了更高的可靠性。TDSVMI满足了广泛的发射机、电缆和接收机测试需求。它提供了一系列测试，可以根据DVI规范和DVI测试与测量指南进行测试，包括眼图、抖动、偏移及上升时间和下降时间测试。它还能先计算单位间隔(Tbit)，累加一百万次采集，在一个像素的10个比特中，在最坏情况眼图上进行眼图测试。超出模板的数量提供了与信号特点有关的详细信息。



### 功率测量和分析软件 DPOPWR

DPOPWR功率测量软件把泰克数字示波器转化成完善的分析工具,可以迅速测量和分析电源开关器件和磁器件中的功耗,然后以可定制的格式生成详细的测试报告。TDSPWR3 在与泰克 DPO7000 和 DPO70000 系列示波器及差分探头和电流探头一起使用时,为电源设计和测试提供了完整的测量系统。通过使用 DPOPWR 独特的开关损耗和 B-H 分析功能,用户只需按一个键,就可以测量开关器件和磁器件的功耗。通过把泰克示波器的高带宽、高取样速率和深内存与 TDSPWR3 的功能结合起来,用户可以高效精确地检定开关电源,测量开关设备和磁性器件的功率损耗。通过使用模板测试的安全工作区域及测量峰值通量密度,可以分析开关电源在元器件级的可靠性。用户还可以根据 IEC61000-3-2、EN61000-3-2 14 标准执行一致性测试,缩短开发和测试时间。



### 磁盘驱动器 TDSDDM2

TDSDDM2是泰克公司提供的满足IDEMA标准的磁盘驱动器专用测量软件。可以为业内领先的TDS示波器提供定制的磁盘驱动器测量。幅度测量项目包括 TAA +、TAA -、TAA、PW50 +、PW50 -、PWR50、重写、和辨率等;定时参数包括时间波谷到峰值和时间峰值到波谷。PRML 测量包括自动关联、非线性转换和信噪比等。泰克还为 MR 磁头设计人员提供了电压和时间不对称测量。另外还提供测量统计功能和可编程数字滤波器。

## 示波器替换型号

### ■ 参考表

## 示波器替换型号参考表

从2006年以后，泰克的新的实时DPO系列数字荧光示波器逐渐替代了传统数字存储示波器和上一代准实时数字荧光示波器，下表提供了泰克示波器的替换型号，供设备更新选用。

在产示波器型号	可替换的停产型号
DPO3032	DPO4032
DPO3054、DPO4054	TDS520 系列、TDS540 系列
DPO7054	TDS5052、TDS5052B、TDS5054TDS7054、TDS654 系列、 TDS724 系列、TDS754 系列
DPO4104、DPO7104	TDS784 系列、TDS684 系列、TDS680 系列
DPO7104	TDS5104、TDS7104、TDS7154、CSA7154
DPO7254	TDS794 系列、TDS694 系列、TDS7254、TDS7254B
DPO7354	TDS694 系列、TDS7404、TDS7404B
DPO/DSA70404B	TDS7404、TDS7404B、TDS6404、CSA7404、CSA7404B、DPO/DSA70404
DPO/DSA70604B	TDS6604、TDS6604B、TDS7704B、DPO/DSA70604
DPO/DSA70804B	TDS6804B、TDS7704B、DPO/DSA70804
DPO/DSA71254B	TDS6124C、DPO/DSA71254
DPO/DSA71604B	TDS6154C、DPO/DSA71604
DPO/DSA72004B	DPO/DSA72004

表十四 泰克示波器型号替换向导

## 一 各种串行标准测试对示波器带宽要求一览及推荐型号

数据速率	对应标准	调试和观测					一致性验证	
		基频 (MHz)	3次谐波 (MHz)	建议使用 示波器型号	1.8倍数据率 (调试用)	推荐使用 示波器型号	5次谐波 (MHz)	推荐使用 示波器型号
10Mb	Ethernet	5	15	DPO7054	18	DPO7054	25	DPO7054
12Mb	USB	6	18	DPO7054	21.6	DPO7054	30	DPO7054
125Mb	Ethernet	62.5	187.5	DPO7054	225	DPO7054	312.5	DPO7054
132.81Mb	FC Electrical	66.405	199.215	DPO7054	239.058	DPO7054	332.025	DPO7054
393.22Mb	IEEE1394b Firewire	196.61	589.83	DPO7104	707.796	DPO7104	983.05	DPO7104
480Mb	USB	240	720	DPO7104	864	DPO7104	1200	DPO7254
500Mb	RapidIO LP-LVDS	250	750	DPO7104	900	DPO7104	1250	DPO7254
531.25Mb	FC Electrical	265.625	796.875	DPO7104	956.25	DPO7104	1328.125	DPO7254
750Mb	RapidIO LP-LVDS	375	1125	DPO7254	1350	DPO7254	1875	DPO7254
786.43Mb	IEEE1394b Firewire	393.215	1179.65	DPO7254	1415.574	DPO7254	1966.075	DPO7254
1Gb	RapidIO LP-LVDS	500	1500	DPO7254	1800	DPO7254	2500	DPO7254
1.0625Gb	FC Electrical	531.25	1593.75	DPO7254	1912.5	DPO7254	2656.25	DPO7354
1.24416Mb	IOF	622.08	1866.24	DPO7254	2239.488	DPO7254	3110.4	DPO7354
1.25Gb	Ethernet, RapidIO LP-LVDS	625	1875	DPO7254	2250	DPO7254	3125	DPO7354
1.5Gb	SATA,SAS,RapidIO LP-LVDS	750	2250	DPO7254	2700	DPO7354	3750	DPO/DSA70404B
1.5729Gb	IEEE1394b Firewire	786.45	2359.35	DPO7254	2831.22	DPO7354	3932.25	DPO/DSA70404B
1.65Gb	HDMI 1.2a, DVI	825	2475	DPO7254	2970	DPO7354	4125	DPO/DSA70604B
2.0Gb	RapidIO LP-LVDS	1000	3000	DPO7354	3600	DPO/DSA70404B	5000	DPO/DSA70604B
2.125Gb	FC	1062.5	3187.5	DPO7354	3825	DPO/DSA70404B	5312.5	DPO/DSA70604B
2.488Gb	IOF	1244	3732	DPO/DSA70404B	4478.4	DPO/DSA70604B	6220	DPO/DSA70804B
2.5Gb	PCI-Express, RapidIO LP-LVDS, Infiniband	1250	3750	DPO/DSA70404B	4500	DPO/DSA70604B	6250	DPO/DSA70804B
3.0Gb	SAS, SATA	1500	4500	DPO/DSA70604B	5400	DPO/DSA70604B	7500	DPO/DSA70804B
3.1104Gb	IOF	1555.2	4665.6	DPO/DSA70604B	5598.72	DPO/DSA70604B	7776	DPO/DSA70804B
3.125Gb	RapidIO LP-LVDS, IOF, Ethernet, XAUI,	1562.5	4687.5	DPO/DSA70604B	5625	DPO/DSA70604B	7812.5	DPO/DSA70804B
3.188Gb	FC	1594	4782	DPO/DSA70604B	5738.4	DPO/DSA70604B	7970	DPO/DSA70804B
3.4Gb	HDMI 1.3	1700	5100	DPO/DSA70604B	6120	DPO/DSA70804B	8500	DPO/DSA71254B
4.25Gb	FC	2125	6375	DPO/DSA70804B	7650	DPO/DSA70804B	10625	DPO/DSA71254B
4.8Gb	FBDIMM	2400	7200	DPO/DSA70804B	8640	DPO/DSA71254B	12000	DPO/DSA71254B
5.0Gb	PCI-Express	2500	7500	DPO/DSA70804B	9000	DPO/DSA71254B	12500	DPO/DSA71254B
6.0Gb	SATA	3000	9000	DPO/DSA71254B	10800	DPO/DSA71254B	15000	DPO/DSA71604B
6.25Gb	Ethernet/CEI(2x XAUI)	3125	9375	DPO/DSA71254B	11250	DPO/DSA71254B	15625	DPO/DSA71604B
6.4Gb	FBDIMM, FSB	3200	9600	DPO/DSA71254B	11520	DPO/DSA71254B	16000	DPO/DSA71604B
8.0Gb	FBDIMM, FSB	4000	12000	DPO/DSA71254B	14400	DPO/DSA71604B	20000	DPO/DSA72004B
8.5Gb	FC	4250	12750	DPO/DSA71604B	15300	DPO/DSA71604B	21250	DPO/DSA72004B
9.6Gb	FBDIMM, FSB	4800	14400	DPO/DSA71604B	17280	DPO/DSA72004B	24000	DPO/DSA72004B
10Gb	XFI	5000	15000	DPO/DSA71604B	18000	DPO/DSA72004B	25000	DPO/DSA72004B

## 二 上升时间测量对示波器带宽的要求一览及推荐型号

信号上升时间 (20%~80%)	示波器带宽需求(MHz)			推荐示波器型号
	3%的精度	5%的精度	10%的精度	
1.5ns	375	320	270	DPO7054
1.2ns	470	400	335	DPO7054
1.1ns	510	440	365	DPO7054
1ns	560	480	400	DPO7054
900ps	625	535	445	DPO7054
800ps	700	600	500	DPO7054
600ps	935	800	670	DPO7104
500ps	1120	960	800	DPO7104
400ps	1400	1200	1000	DPO7104
380ps	1475	1265	1055	DPO7254
220ps	2545	2185	1820	DPO7254
200ps	2800	2400	2000	DPO7254
190ps	2950	2530	2105	DPO7254
180ps	3115	2670	2225	DPO7254
170ps	3295	2825	2355	DPO7254
160ps	3500	3000	2500	DPO7254
150ps	3735	3200	2670	DPO7354
140ps	4000	3430	2860	DPO7354
130ps	4310	3695	3080	DPO7354
120ps	4670	4000	3335	DPO7354
110ps	5095	4365	3640	DPO/DSA70404B
100ps	5600	4800	4000	DPO/DSA70404B
90ps	6225	5335	4445	DPO/DSA70604B
80ps	7000	6000	5000	DPO/DSA70604B
70ps	8000	6860	5715	DPO/DSA70604B
60ps	9335	8000	6670	DPO/DSA70804B
50ps	11200	9600	8000	DPO/DSA70804B
40ps	14000	12000	10000	DPO/DSA71254B
30ps	18670	16000	13335	DPO/DSA71604B
20ps	28000	24000	20000	DPO/DSA72004B

注：上表基于以下经验公式：

信号最高频率 =  $0.4 / \text{信号上升时间 (20\% \sim 80\%)}$

测试精度要求 3% 以上时，示波器带宽  $> 1.4 \times \text{信号最高频率}$

测试精度要求 5% 以上时，示波器带宽  $> 1.2 \times \text{信号最高频率}$

测试精度要求 10% 以上时，示波器带宽  $> 1.0 \times \text{信号最高频率}$

### 三 选择合适的示波器进行电路调试和验证

**摘要** 调试和验证，是示波器的两大功能。80年代之后，模拟示波器渐渐被数字示波器替代。随着各种计算机和通信技术的飞速发展，各种高速的信号传输应用日益普及，这对于高速信号的测试提出了新的挑战。如何选择合适的示波器来完成调试和验证工作，成了一个被广泛讨论的问题。

本文从示波器技术的发展和过程，全面介绍新一代DPX技术的示波器构架基本原理、实现方式和在高速信号测试和调试中的作用，帮助测试工程师在工作中间选择最好的工具来完成调试和验证工作。

**关键词：** 调试 验证 DPX 数字荧光技术 DPO 数字荧光示波器 波形捕获率 Pinpoint 触发系统

#### 引言：

示波器，作为全球使用最广的通用仪器，伴随电子设计工程师走过了60年的历程。第一代的模拟实时示波器 (ART) 和第二代的数字存储示波器 (DSO)，都有其明显的缺点。基于DPX数字荧光技术的第三代数字荧光示波器 (DPO)，结合了前两代示波器的优点，同时消除了两者的缺点。全新一代的数字荧光技术进一步提升了数字荧光示波器的实时性，使DPO在性能和适用性方面已经远远超过了同等带宽的ART和DSO，成为当前业界性能最优、效率最高、分析能力最强的选择。为什么DPO具有这样的能力呢？本文接下来的部分，将结合DPX技术的核心，为读者完整介绍三代示波器在调试和验证工作中的优劣势，同时解答一些已谈论过多年的疑问。

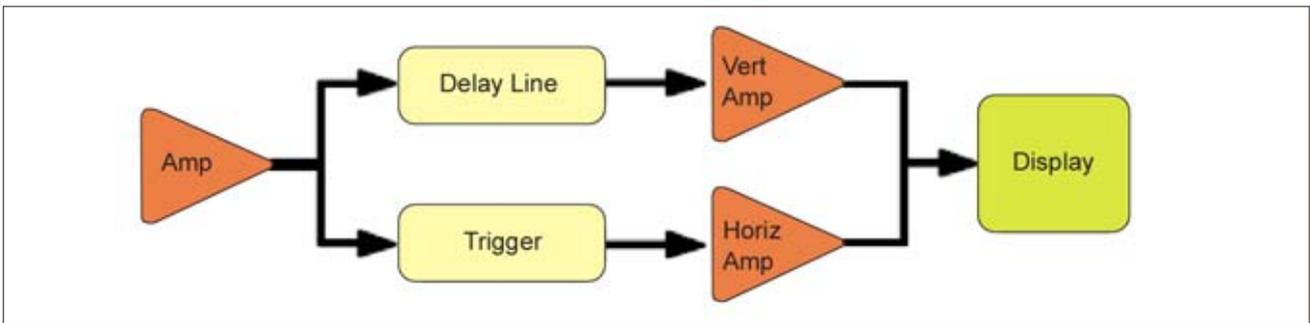
# DPO 数字荧光示波器

## ■ 技术文库

### 第一章 示波器技术的发展和演变

泰克的511模拟实时示波器,标志着商用示波器时代的到来。511之前也有一些“示波器”产品,但是由于其没有触发系统和校准的时基、垂直刻度,不能提供稳定的显示波形,也不能进行定量测试,所以只是一种定性观测的工具。511首次在“示波器”这种测试设备中加入了边沿触发以显示稳定波形、使用校准的时基和垂直放大器以提供定量测试能力,大大增加了适用性。这样,商用示波器诞生了。

模拟实时示波器发展到现在,基本结构并没有多大变化,下图是一个基本的结构框图:



■ 图一 模拟示波器结构简图

再来看模拟示波器显示的方式——CRT 阴极射线管。电子束经过偏转板的偏转,再轰击显示屏上的荧光物质发光形成波形轨迹。当电子束停止轰击后,亮点不会立即消失而要保留一段余辉时间。余辉时间 10 $\mu$ s—1ms 为短余辉,1ms—0.1s 为中余辉,0.1s—1s 为长余辉,大于 1s 为极长余辉。一般的示波器配备中余辉示波管,高频示波器选用短余辉,低频示波器选用长余辉。在余辉效应的作用下,波形轨迹上每一点的亮度,和被轰击的次数(频度)成正比关系。因此,模拟实时示波器显示的波形,不仅有时间和幅度的信息,还能以亮度等级表示信号出现概率的信息,非常有利于观测。

但是在另一方面,荧光物质发光的这一特性也带来了一个问题:轰击次数过少的轨迹的亮度会很低,甚至根本无法观测到。所以模拟示波器比较适合于重复信号(如连续正弦波)或者

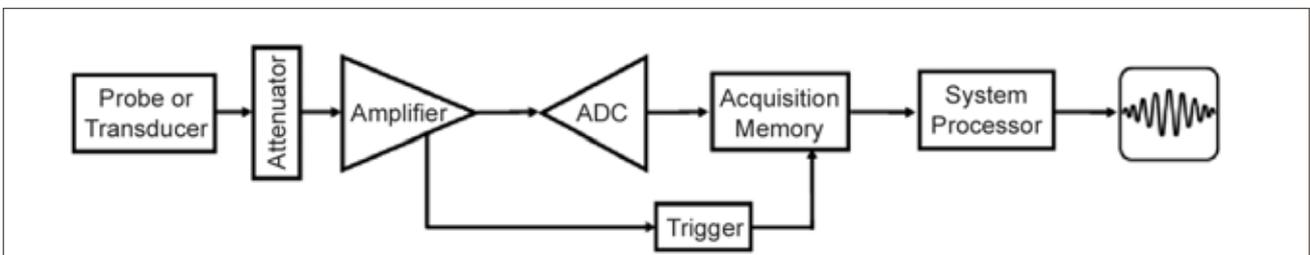
模拟实时示波器机构简单,没有信号的数字化、处理等过程。ART的所有信号调理、放大和显示都由模拟器件完成,所以从信号进入放大器(或探头)到最后在CRT上显示,几乎是实时(延迟时间几乎可以忽略)的。

但是,模拟示波器也有死区时间,在死区时间内出现的信号是不能显示在屏幕上的。这个死区时间来自于触发系统的“触发抑止”(hold off,或者称为“触发释抑”)和等待触发的时间。所以,模拟示波器也不是能100%地捕获信号。不同型号的模拟实时示波器,最大波形捕获概率大约从30%~70%不等,扫描速度最快可达50万次/秒。这是一个非常好的指标。

有重复特性的信号(如模拟视频信号)。而对单次信号(如单个脉冲或偶发故障)的观测能力非常有限。

总结起来,模拟实时示波器有以下几点主要优点:实时性强、波形捕获概率高、直观的三维(时间、幅度和信号出现概率)显示方式。缺点主要在于:无法存储数据、分析能力有限、对低概率事件捕获能力不足、触发简单、预触发延时不足和带宽提升困难(从前端放大器到CRT必须同时提升)等。随着数字化运动的兴起和越来越多的单次信号测量需求,模拟示波器这些缺点使其渐渐不再能满足测试需求,所以从上世纪80年代开始,主流的示波器厂家均渐渐转向数字示波器的研发和生产。

第一代数字示波器现在被称为数字存储示波器(DSO),使用串行的工作结构。原理框图如下:



■ 图二 数字存储示波器结构简图

数字存储示波器使用了ADC采样的方式,所以被测的模拟波形最终可以以数据的格式存储。当然,数字化的数据还可以方便地进行自动测量、频谱分析、数学计算或者其它高级分析。所以数字示波器特别适于单次信号的采集和分析,这是一个很大的突破。

另外一方面,数字存储示波器在ADC以后就是全数字化处理,所以带宽的提升仅受限于可变增益的前置放大器带宽和ADC的速率。由于超高带宽示波器系统设计中,宽带放大器是其中的核心部分,目前的主流设计都采用每一个通道独立的硬件放大器设计方法,这样保证每一个通道的性能没有限制。当每一个通道放大器的设计带宽不足时,有些示波器通过DBI技术利用示波器通道的低带宽放大器在不同的频段“拼接”在一起,在某一条或两条通道上达到超过其模拟带宽的能力,例如3个通道的6GHz频段“拼接”后达到18GHz带宽。从DBI技术实现的方法可以明显看出它的优点和相应的缺陷,最明显的优势是利用多通道的低带宽合并为“高带宽”,在示波器设计中成本最高的放大器和ADC均采用低速设计,非常有利于控制成本。由于DBI技术本质上首先经过将信号频率分配到不同的通道,通过相对低速的ADC进行采样,最后通过DSP技术将这些包含不同分量的频率数字“拼接”,它会带来一些使用上的限制:如通道数减少、不能在全通道达到标定带宽、采样率不能任意调整、拼接点响应问题、垂直灵敏度调节受限、触发系统因为不能也通过“DBI”提升而不能满足高带宽需求等。从这些限制我们可以看出,DBI除了带来了有限通道的高带宽外,其它性能还是仅仅只能满足低带宽测试需求。

数字存储示波器在触发系统上也有很大的进步。从结构框图上可以看到,数字示波器的触发系统是完全独立的一个以模拟电路为主的电路。高性能的触发系统好比是照相机的快门,可以帮助测试人员准确定位信号行为。针对各种特殊信号的特点,数字存储示波器可配备毛刺触发、欠幅脉冲触发、过渡时间、通讯触发、串行触发、窗口触发、状态触发、码型出发和总线触发等多种高级触发模式。

数字存储示波器有了这些特性,在带宽性能可以远高于模拟实时示波器;在触发和采样的配合下,数字存储示波器对单次信号(低重复概率信号)的捕获能力有巨大提升;对于信号的测试和分析能力也今非昔比……但是,在增强了对单次信号的捕获、分析能力以后,也引入了难以避免的弱点,这主要体现在波形捕获率和单调的显示能力上。以下我们来说明一下这些弱点:

数字存储示波器的结构上已经决定,它必然工作在一种串行模式下——信号经过调理,进入ADC采样;ADC的采样数据

在触发系统的控制下送入采集内存;采集内存存满以后,波形数据被送到计算机系统;微处理器根据用户需求,对这些数据进行处理、计算、分析;最后波形和分析结果被显示在显示器上(滚动模式下工作流程略有不同,这里不做详细描述)。在这个过程中:从信号调理、触发监控到ADC采样,几乎是实时的,不会影响工作效率;而数据从采集内存传到计算机系统、微处理器的处理、计算过程、最终的显示,都会因为示波器的构架不同而影响其实时性。其中最关键的部分是微处理器的处理过程。我们都知道,流行的示波器采样率都会在每秒数十吉(GS/s),没有任何一个通用的微处理器可以实时处理这样的数据流,所以示波器微处理器的处理方式只能是“抓取一段、慢慢处理、控制显示”,然后重复。这样,在其“慢慢处理”的时间中,示波器将不能监视波形,这也就是我们所说的“死区时间”,在死区内发生的事件,是不会显示在屏幕上的。为了衡量数字存储示波器的死区时间占到总观测工作时间的比例,我们引入“波形捕获率”的概念,也就是示波器可以连续提供的每秒种内捕获并显示的波形个数。此处的“一个波形”指一次触发采集的全部信息。试验证明,业界波形捕获率最高的高性能(带宽1GHz以上)数字存储示波器,最高波形捕获率在大概8000次左右,其捕获波形的总体时间大约占到总观测时间的1~2%,也就是说:全部信号的98%以上的细节,因示波器的死区时间而漏失掉了。

每个工程师都相信仪器提供了正确的信息,但很少有工程师会考虑到自己正在使用的示波器只能提供如此之少的波形细节——举个例子,如果您观测的信号里存在一种平均1秒发生一次的故障,那么数字存储示波器1秒内发现这个故障的概率只有不到2%,15秒内发现的概率也只有大约26%。而事实上,由于开发时间紧迫,一般工程师观测一个信号的时间都不会超过10秒——结果,您只有不到1/4的概率能够捕获这个故障并进行有效调试。

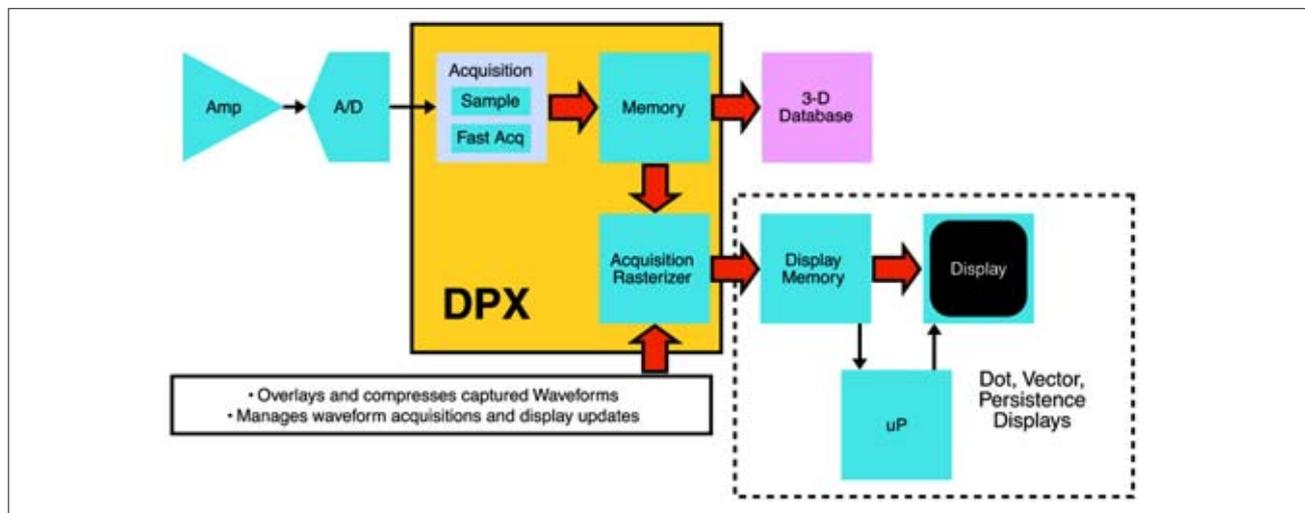
几乎所有的示波器厂商都意识到数字存储示波器波形捕获率低这种缺陷,并且开发出了很多提高示波器速度的方法。但是,无论在数据从采集内存送到微处理器时使用专用高速传输方式,还是在显示上采用显示局部和抽点显示的加速技术,都未能从最根本的问题上解决吞吐率的问题——串行的构架中,微处理器是速度的瓶颈,只有完全改变串行结构、解放微处理器,才是解决问题的关键。

在这个方面,泰克公司走在了行业的最前面。在其它厂商都还在坐享数字存储示波器带来的优点时,泰克就已经着手于串行构架的改造。从上世纪90年代中期的InstaVu™到2006年初的实时DPO,基于并行构架的第三代示波器:数字荧光示波器,从出现逐渐走向成熟。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

下图是 DPO 数字荧光示波器的结构图：



■ 图三 数字荧光示波器结构图

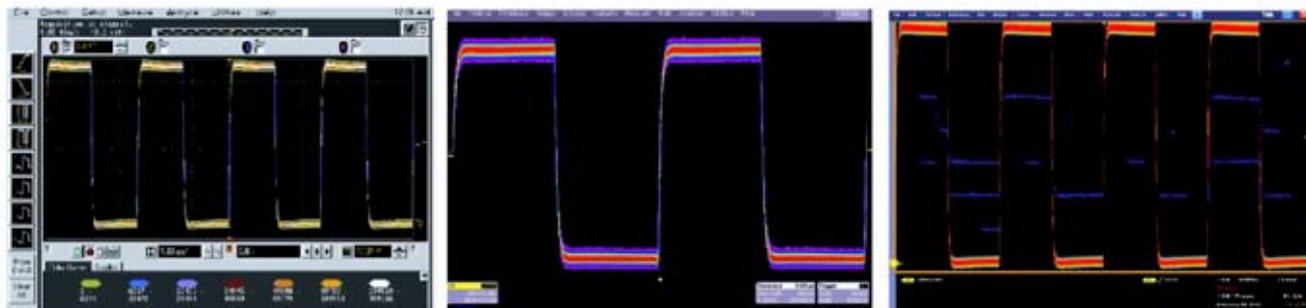
从结构可以看出，DPO 数字荧光示波器的并行处理核心是 DPX 并行成像处理芯片。DPX 完成了采集数据的存储、光栅化和统计处理以生成三维数据库。并且能把光栅化的波形图像信息直接导入显存。在这种构架中，微处理器仅仅做显示控制等工作，不再在数据处理过程中充当瓶颈。

DPO 数字荧光示波器的并行结构从根本上解决了 DSO 数字存储示波器波形捕获率低、波形漏失严重的缺陷。DPO7000 系列实时数字荧光示波器的波形捕获率可以达到 250000wfms，DPO70000B 系列超高性能数字荧光示波器更可超过 300000wfms，捕获波形占总体信号的比例也最高可达 60% (连续提供)；而且新一代的 DPX 采集也没有了上一代“准实时荧光示波器”的最高 1.25G 实时采样率的限制，而是可以工作在任何采样率下，对信号的捕获能力进一步增强，是现在业界发现问题的最佳工具。下图是三家不同厂商的同等级示波器同时观测一个带有偶发故障 (约一秒钟发生一次) 的时钟，15 秒以后的情况。可以看到，在前面两种示波器几乎没有发现任何问题的时候，泰克的数字荧光示波器 (右图) 却捕获到了此间发生的多次故障，差别一目了然。

DPX 生成三位数据库在显示上也有巨大优势。这种由硬件缓冲器记录的数据库可以保存波形的幅度、时间和随时间变化的幅度 (即各点信号出现的频度) 信息，无论在累计速度还是缓冲器深度 (每点 26bit) 上都远远超过其它厂商的软件生成的数据库。由此三位数据库生成的显示波形，可以以色温、光谱、亮度等级等方式，同时告知用户幅度、时间和信号出现的概率信息，效果非常类似模拟示波器。

数字荧光示波器，拥有和模拟示波器相当的波形捕获率和显示方式，对重复信号和有重复特性的信号 (如数字信号、串行通信信号) 的捕获和观测能力大大超越传统数字存储示波器，能显著提高调试和验证的效率。同时，数字荧光示波器也具有数字存储示波器对于单次捕获信号的全部分析能力。而且，由于其构架的优势，数字荧光示波器在测试项目、测试速度以及测试精度上都全面领先于数字存储示波器。

如何使用数字荧光示波器进行高效的电路调试和验证，我们将在下两章着重介绍。



■ 图四 对同一个信号观察相同时间，DPO 发现更多波形行为

## 第二章 使用实时数字荧光示波器进行调试 ——发现问题、定位问题、分析问题

调试(Debug)的任务,是要检查设计中存在的问题,改正电路中的错误,消除设计里的缺陷,使设计达到预期的功能,并优化电路。

调试的一般过程,我们可以把它归纳为:发现问题——定位问题——分析问题——解决问题。万用表、示波器、逻辑分析仪等仪表都是重要的调试观察工具。

使用示波器进行调试,准确、快捷、使用方便是每个使用者的要求。选用合适的工具来工作,可以起到事半功倍的效果。

隐藏在正常信号里的异常(偶发性故障),是调试电路错误的一种关键对象。发现偶发性故障对于调试工具提出了很高的要求——调试工具的波形捕获概率要足够高,漏失率要足够低,才能快速可靠地发现这些偶发的异常,为我们下一步定位问题提供足够的信息。正像图四中看到的例子,一秒发生一次的故障,可能来自于时钟电路的周期性失效,也可能源于其它电路的干扰。由于这种失效或者干扰的出现概率可能只有几百万分之一甚至更低,所以对于传统数字存储示波器不到2%的捕获概率来讲,要以比较高的置信度来发现这些问题,需要花费很长的时间。这时,数字荧光示波器的优势就显现出来了,它高达数十万次的波形捕获率和最高可超过60%的捕获概率,可以帮助调试人员迅速“看到”问题,减少在众多正常信号里面搜寻故障的时间——结果,您可能只需要几秒钟,而不是数分钟、数小时甚至几天的时间,就能发现令人头痛的偶发性错误。

事实上,偶发性故障对于调试人员来说本来是未知的——在有限的观测时间内,发现问题的概率越高,则调试的效率越高。这时数字荧光示波器的价值更加明显——DPO观测一段时间所获得的信息量,用数字存储示波器可能需要数十倍甚至数百倍的时间才能完成。所以,DPO是现今数字示波器领

域,能最快发现问题的调试工具。还是图四的例子,使用DPO观测10秒钟,发现一秒一次的故障的概率大约是99.99%。而使用数字存储示波器,达到同样的捕获概率需要约450秒,也就是七分半钟,差别一目了然。从这种意义上来讲,DPO提供的不仅仅是远远领先的效率,更加为调试人员增添了无以伦比的信心。

发现问题,完成了调试中关键的一步。下一步就是定位问题。

高性能示波器定位问题,当前有两种方法:一种是使用长内存,抓取很长的数据量,然后通过肉眼观测或者搜索插件来找到关心的问题点;另一种是使用触发,直接定位需要的的波形细节。

调试时使用长内存加查找来定位问题,好比是用摄像机摄录下一段时间的风景,然后再返回去查看所有记录来搜索我们想看的景色;硬件触发定位,类似高性能照相机加准确的快门设置,直接拍下我们关心的景色。

使用长内存来直接“定位问题”,并没有从根本上改善数字存储示波器高漏失率的问题。在图四的例子里面,如果使用目前业界高速内存最长的数字存储示波器,其可以提供最高40G的采样率和1000M存储深度。您可以发现,即时使用全部1000M存储空间,在40G采样率下只能无漏失地捕获25ms长度的波形;而处理这1000M的数据,这种示波器通常需要几秒到几十分钟的时间,漏失概率高达99.5%以上。所以在不知道偶发故障主要参数的前提下使用长内存加搜索,命中率较低。

DPO的高波形捕获率,能在很短时间内发现信号的异常,如毛刺、欠幅脉冲、建立/保持时间违规、边沿速率或者单调性问题等等,并能以色温等方式告知其发生频度。用户使用基于DPX捕获技术的快采(FastAcq)方式捕获了这些问题以后,就可以使用简单的如光标测量等方式确定其主要参数,并将这些参数作为触发条件,就可以直接定位故障了。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

有些调试人员可能会有这样的疑问: 用DPX快采看到的故障, 如果是不可重复的, 那触发系统再强大也捕获不了啊? 不错, 如果故障是单次的、不可重复的, 那示波器是不能重新捕获的。但是, 您完全没有必要担心, 事实上, 纯粹的不可重复故障并不是调试工作的任务, 我们在调试时也不必关心这种问题。它可能源自一些非本电路的原因, 如电力系统偶然失效、突发外部 EMI 干扰等——既然不会重复, 我们为什么要担心呢?

当然, 如果调试人员已经习惯使用长内存的方式定位故障, DPO 也能胜任。实时数字荧光示波器可以配置高级搜索与标记套件, 可以设置各种搜索关键参数来定位捕获信号中的特定细节, 并通过标记功能予以强调。同时泰克示波器有一套完整的手段, 对标记的信号进行进一步分析。

下面就是分析问题。示波器能提供的分析方法一般有: 自动测量、数学运算、频谱分析、滤波和其它分析。现代示波器一般都使用开放式的 Windows 操作系统, 较为容易实现分析功能的扩展。

DPO 提供的标准配置分析功能很多。在自动测量方面, 有关于幅度、时间、组合、直方图和眼图的 53 种测试项; 在数学运算方面, 有数十种运算符号可供调试人员自由编辑; 频谱分析方面, 除了一般示波器可以提供的基本 FFT 频谱分析仪外, DPO 还提供高级的 FFT 分析, 您可以设置中心频率、频谱跨度、分辨率带宽和选择合适的窗口函数(总共 8 种); DPO 也提供用户自定义的 FIR 滤波器功能, 用户可以使用低通、高通、带通、带阻、平滑等滤波器。

此外, 泰克还提供几十个免费小插件, 使用这些小插件, 可以轻松实现诸如“触发 - 存盘”、“测量 - 归档”这样的自动操作。另外, 通过选件支持, 用户还可以进行抖动分析、功率测量等高级测量。

有几个分析工具是值得注意的: 第一个是快帧(FastFrame), 它能将内存分段, 连续触发, 用户可设置触发捕获次数。当示波器捕获用户要求的次数后, 每次捕获的信息都存入内存。用户可以观察每次捕获的波形(观察单个或者叠放), 并且可以了解每次触发的时间(精确到皮秒)。这个功能对测量故障或者低占空比脉冲信号的频率和重复性有很大的帮助。和业界其

它类似功能相比, DPO 的快帧功能拥有最快的连续触发速率和最准确的定时精度;

第二个是 DPX 快采数据的自动测量功能。之前有人认为 DPX 快采的数据不能进行测试。事实上, DPX 采集生成的波形数据库不仅可以测量, 而且由于其本来就有统计效果, 所以该三维数据库的信息用作重复信号或者有重复特性的信号的测量时, 标准偏差(std. deviation)还较其它采集模式下小很多, 亦即测试结果更准确。

在调试中, 工作效率除了体现在快速发现问题、精确定位问题和精确测量外, 仪器的易用性也十分重要。现代示波器的功能越来越丰富, 性能也日益强大, 其操作也变得越来越复杂。为了让调试人员专注于设计本身而不是测试仪器, DPO 专门设计了用户自定义操作界面的 MyScope(我的示波器) 和 Windows 风格的鼠标右键弹出菜单功能。MyScope 使示波器操作人员可以根据自己的使用风格和操作习惯, 自由地将操作按钮组合成自己需要的操作界面。这样, MyScope 操作面板可只包含用户需要的按钮, 而其它不用的功能可以被完全忽略掉——于是用户将不再在众多复杂的菜单列表里寻找自己需要的功能——只要简单地打开“我的示波器”操作界面即可。更加简便的是, MyScope 的自定义过程是完全的图形界面操作, 您无须编写 script, 使用鼠标拖拽即可。

鼠标右键的弹出菜单, 是用户操作时, 可以在显示界面的特定位置(如测量结果、采集状态、通道标号、触发方式等等)上点击鼠标右键, 即有与该位置所指示的参数相关的设置菜单弹出。熟悉 Windows 风格的用户可以使用这一功能, 几乎只用一只鼠标就可以完成所有的示波器操作, 效率倍增。

从以上几点我们可以看到: 采用 DPX 技术的 DPO 平台示波器和传统示波器相比, 快速采集(FastAcq, 即 DPX 采集技术)能够最快最可靠地发现问题; 硬件实时触发系统能够更精确地定位问题; FastFrame 快采、自动测量、数学运算、FIR 滤波器等功能可以从各种角度分析问题; 同时, MyScope、鼠标右键弹出菜单等可以提高操作效率, 降低工作复杂程度。这些都让 DPO 数字荧光示波器成为当今业界功能最强大、效率最高、分析能力最强的调试工具。

下一章中, 我们将介绍使用 DPO 数字荧光示波器进行信号的验证。

### 第三章 使用实时数字荧光示波器进行验证——捕获和分析

验证(Verification), 就是测试设计是否和它对应的各种标准(行业标准或者自定义标准)相符, 以及有多少冗余量。验证和调试, 是示波器的主要用途。

在使用示波器进行调试时, 我们关心的主要指标是:

**波形捕获率**——决定仪器能够多快发现故障

**触发系统**——决定仪器能够多精确地定位故障

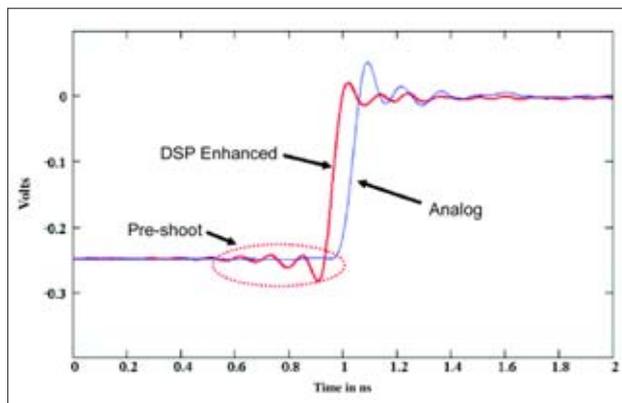
**分析能力**——决定仪器能够从波形里提取出多少有用信息。

而在使用示波器进行验证时, 我们更关心的指标是: 信号保真度——决定采集的样点是否能够真实反映信号特性; 采样率和内存深度——决定单次捕获可以以多快的速度以及抓取多少样点供验证测试; 分析工具——决定深入分析的精度和准确性。

信号保真度是一个比较复杂的问题, 涵盖了示波器的带宽、采样率、内插、抖动噪底、本底噪声、有效位数、时间测量精度、探头系统等多个方面。业界对此的讨论很多, 也有很多相关文章, 所以本文不再做详细分析, 只强调示波器的频率响应和有效位对验证的影响。

频率响应, 在示波器指标上反映为带宽和上升时间。带宽表征的是示波器的稳态响应能力, 而上升时间是瞬态响应。经验上, 带宽和上升时间(10~90%)的乘积是一个常数, 这个常数和示波器的放大器模型有关。如高斯响应的放大器模型, 这个常数是0.35; 而高性能的示波器放大器模型比较复杂, 该常数一会在0.4~0.55之间。当然, 从用户的角度看, 这个常数应该越小越好: 常数越小, 则表示相同的带宽(稳态响应)下, 该示波器的上升时间更快, 也就是说瞬态响应更好; 而上升时间一样的情况下, 乘积小的示波器需要的带宽会相对低一些——而对示波器, 带宽和价格是正比的, 也就是说乘积小的示波器性价比更高。

我们验证测试对象一般都是脉冲(非正弦)信号, 如通信信号、串行总线信号、高速脉冲信号等等, 所以示波器的瞬态响应相比起来更加重要。泰克 DPO 示波器在相同带宽下, 能提供最快的上升时间, 对于瞬态信号的测试非常有帮助。



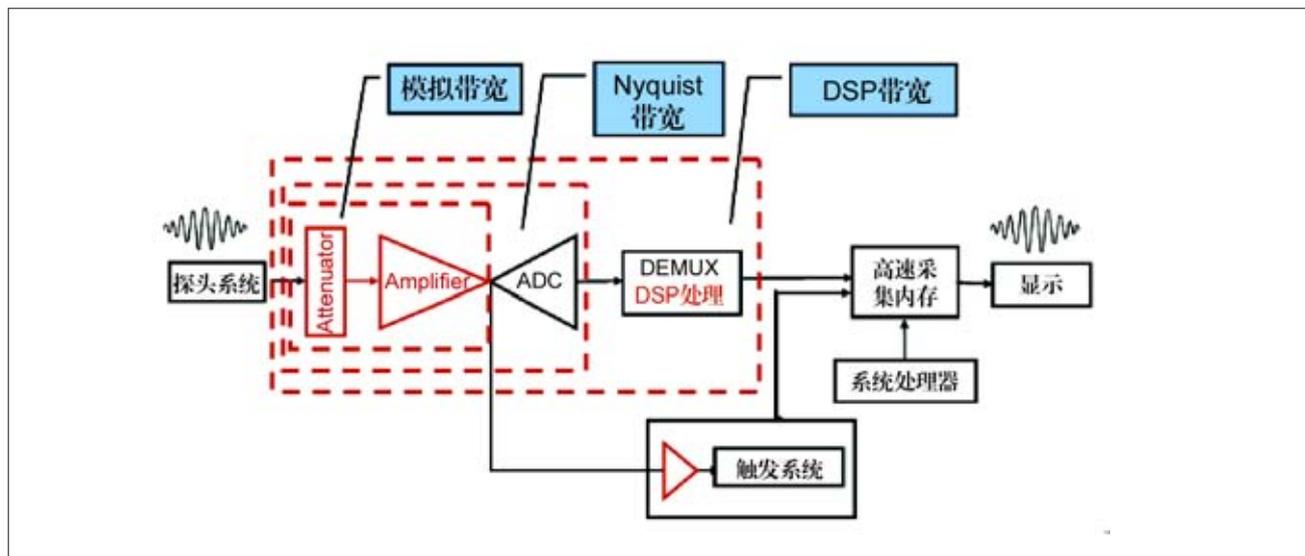
另外一方面, 高带宽示波器的不同设计结构, 也会影响到验证测试的正确性、精度和速度:

近几年示波器带宽不断高速提升, 如何在提升带宽的同时, 保证带内幅度响应的平坦和相位响应的线性, 成了一个重要的问题。有经验的工程师都知道, 要完全从硬件入手, 是不可能得到理想的平坦幅度响应和线性相位响应的。所以在高性能示波器的放大器技术中, 各大示波器生产商都在使用软件提升带宽和优化响应的 DSP 技术。DSP 技术的使用, 确实能得到比较理想的幅度和相位响应, 但是它并不是有利无害的。下图是示波器对阶跃信号的响应, 蓝色为完全的模拟响应, 而红色是 DSP 处理后的响应。

DSP 提升、修正幅度和相位响应后, 示波器可以更加精确地测量上升时间、眼图冗余等指标, 有利于对数字通信信号、计算机总线信号等的验证测试。但是从红色的波形可以看到: 虚线框部分, 我们叫做“预过冲”, 是一种不存在于现实信号中“假波形”, 是由 DSP 处理产生出来的失真 (DSP 带宽不足以捕获所有高频分量、加上其低通滤波器模型、线性相位响应而出现的吉布斯现象)——对于阶跃信号来说, 没有理由当上升能量还没有产生时, 波形就开始振荡。所以当使用示波器测量高速脉冲、激光脉冲或类似信号时, DSP 的处理就不再是测试人员期望的了——失真的波形错误指示了各个时间点的物理行为。

## DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库



■ 几种“带宽”的定义图示

当然，DSP还有其它一些问题，如过驱动的信号的错误显示、较低的数据吞吐速度、DSP之前的原始数据无法导出等。所以当用户需要观测过驱动信号(如脉冲顶端的过冲细节)、需要使用示波器采集的原始数据做自定义分析(如激光脉冲测量)或者需要较高的处理速度时，都要求示波器不使用DSP功能。

除了应用上需要注意以上这些事项以外，DSP功能还有一些要求。从上图我们可以看到，DSP要求必须满足奈奎斯特采样率实时采样。有一些厂家的示波器当采样率不满足奈奎斯特带宽时，会有难以预料的波形幅度失真，大多来自于这个原因。

同时，高性能示波器一般都是4通道。但是要在四个通道上同时实现标定带宽，还需要采样率的支持。业界一般公认2.5倍于带宽的采样率是保证带宽的最低要求。泰克所有的DPO可以同时在这4条通道同时提供全带宽性能(每通道50G的采样率可以有效保证最高20GHz的带宽)，而采用共享放大器和ADC结构的示波器最多只能在两条通道上达到全带宽指标，有的甚至仅仅能保证一条通道的性能。

有关信号保真度的另一个重要指标是示波器的有效位数，有效位数通常是作为一个频率的函数，它受信噪比和失真的影响，一般来说，有效位随频率的增加而降低。也就是说，示波器在测试不同频率的信号时，并不是可以完全使用到其8bit的AD位数，而是随着信号频率的升高AD位数会降低。有效位是一种判定包括示波器在内的A/D系统信号完整性的通用参数。有效位反映了在指定的设置下，在整个频率范围内，数字化系统各种误差的累计表现。有关有效位的具体说明，可以参看泰克应用文章《理解有效位数在示波器测量中的意义》和《测试有效位，评价数字化系统的动态性能》。

随着有效位的降低，仪器的测量精度将下降。这直接导致仪器测量结果的冗余量的降低。例如，您可能会发现，您无法通过某种标准一致性测试，只是因为使用了无法为特定容限测试提供足够余量的仪器。具有较高有效位的仪器由于有较高的测试精度，所以其测试结果的可重复性也更好。

第二代和第三代串行数据标准的数据传输速率对测试仪器的性能提出了更高的要求。用于测试的示波器仅仅拥有足够的带宽是不够的。杰出的ENOB性能至关重要，只有这样，才能保证足够的测试精度和余量。

存储深度方面，很多验证测试需要足够的的数据。如目前在高速串行信号的抖动和眼图测试过程中都要求一次捕获大量的数据，以进行精确的抖动测量和预估，同时保证低误码率。以避免捕获少量数据进行分析的结果的偶然性和不确定性。类如 HDMI 测试规范(CTS1.2 a Page 15)要求捕获 1 百万个比特数据进行眼图分析，则需要示波器两通道在 10Gs/S 的采样率下使用 16M 的存储深度。FBD Sigtest(Release notes Page6)推荐捕获 1 百万个比特数据进行眼图分析。PCIE 2.0 的规范(Page239)规定强制要求捕获 1Million 数据进行眼图抖动分析。则需要示波器单通道在 40Gs/S 的采样率下使用 8M 的存储深度。

另一个例子：为了减少 EMI 的串扰和辐射，在大多数高速串行信号中均使用了加入了扩频时钟(spread spectrum clock)，它可以使串行信号的速率在一个适当的范围内进行漂移，从而使其频谱在一个较宽的范围内扩散，尖峰值显著降低，可以有效减少 EMI 问题。例如 FBD 规范(Page15)明确规定需要支持频率很低的 30-33K 的频率的扩频时钟，其他如 PCIE, SATAI, SATAII 同样要支持此功能。为了验证 Motherboard 上的诸如此类的串行信号是否支持扩频时钟，而且确认其调制频率是否在 30-33K 之间。就必须一次捕获足够长时间的信号进行频率抖动分析。一次抓取的采样点数可以用下面的公式计算：每个扩频周期约位  $1/33k=30\mu s$ ，由于是捕获高速串行信号，采样率至少为 40Gs/S,即采样间隔为 25pS，则捕获单个周期的总采样点数为  $30\mu s/25ps=1.2M$ ，为了实现准确的扩频时钟的测量，一般建议捕获 10 个以上的扩频时钟周期,所以总的采样点数为  $1.2M*10=12M$ 。

在分析工具方面，工程师一般会按优先顺序考虑以下三个方面：第一是准，即分析工具能够精确地得出结果；第二是全，即分析工具能够尽可能多地完成要求的测试项；第三是快，即在保证“准”和“全”的基础上，分析工具还能迅速、自动地工作，最好能够生成标准的测试报告。

“准”是第一要求，工业的标准文档一般会推荐一些解决方案，这些解决方案通常是标准工作组正在使用的方案，当然这类方案可以满足“准”的要求。还有一些所谓的“执行标准”，就是在标准工作组推荐的多个方案中，主要厂商或者行业领导者选择的方案。这类方案有最多的采用者，当然使用这类方案，可以得到业界最主要厂商的认同，所遇到的兼容性问题也最小。

建立在“准”基础上的“全”也是一个重要条件。一种分析工具，如果能够提供尽可能多的测试项，最好还能用户自定义测试点，那么将会为工程师带来很大的便利。行业规范以及业界认可的设备对验证测试非常重要，不同厂家的设备虽然都对外宣称可以支持某一项标准的一致性测试，但由于硬件平台以及软件实现方式的不同，使测试项目的完整性，覆盖率以及测试结果存在很大差异。这种测试结果的差异会大大降低客户对测试报告的认可程度，对于 OEM/ODM 厂商这一点尤其需要重视。

“快”的要求，必须要建立在“准”和“全”的基础上——高效必须以质量为前提。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

以高速计算机总线测试为例，下表列出泰克的解决方案，其中大部分方案都是标准规范所推荐的：

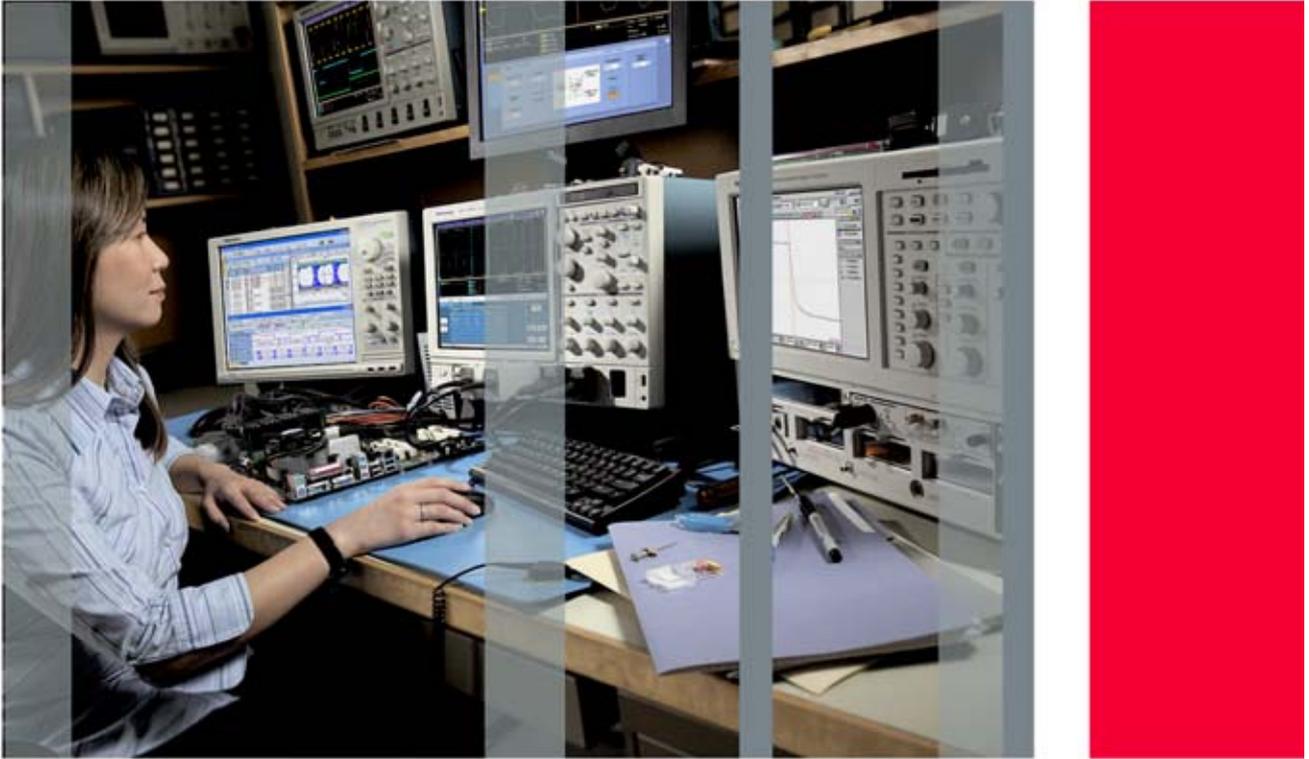
标准	数据速率(bps)	5 次谐波(Hz)	规范推荐示波器带宽	一致性测试方案
Ethernet	250M		1GHz	TDSET3
USB	480M	1.2 G	2.5GHz	TDSUSBF
DDRII	533/667/800M	N/A	8GHz	DDR A
SATA I	1.5G	3.75 G	6GHz	SST(RTE)
SAS 150	1.5G	3.75 G	6GHz	SST(RTE)
1394B	983.0M/1.966G	4.5 G	4GHz	QP
DVI	1.65G	4.125 G	4GHz	TDSDVI
HDMI	1.65G	4.125 G	4GHz	TDSHT3
Fiber channel	2.125G	5.3125	4GHz	SM,DPOJET
Express card	2.5G	6.25G	6GHz	PCE(RTE)
PCI express	2.5G	6.25G	6GHz	PCE(RTE)
InfiniBand	2.5G	6.25G	6GHz	DPOJET
SATA II	3G	7.5G	10GHz(8GHz)	SST(RTE)
SAS 300	3G	7.5G	10GHz(8GHz)	SST(RTE)
Fiber Channel 4X	4.25G	10G	10GHz	SM,DPOJET
FBD I	3.2/4.0/4.8G	12G	12GHz	FBD(RTE)
PCIE 2.0	5G	12.5G	12GHz	PCE(RTE)
SATA/SAS III	6G	15G	15GHz	DPOJET
PCIE 3.0	8G	20G	20G	DPOJET

另外，在通信规范的验证上，泰克的 Pinpoint 触发系统提供通信相关触发，它使用硬件时钟恢复电路恢复高速串行数据的嵌入式时钟，从而可以进行等效眼图测试。泰克示波器也是业界唯一可以实现标准等效眼图测试的实时示波器。

### 小结

本文回顾了示波器的发展历程,通过对当前示波器硬件设计的结构讲述了不同示波器在进行测试时的差异性。分析了数字存储示波器,数字荧光示波器的优劣。讨论了针对不同测试需求必须考虑的因素等等。详细讨论了示波器的两大应用——调试和验证,供用户在示波器选型和使用时参考。

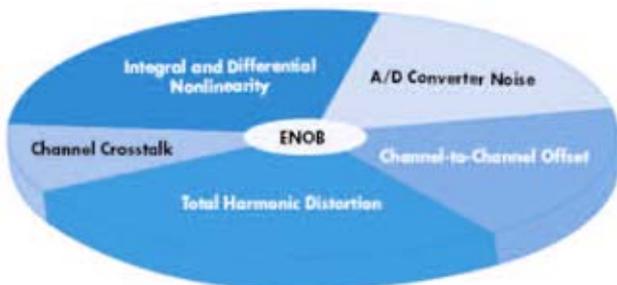
## 四 理解有效位数在示波器测量中的意义



当考虑示波器或数字化仪的性能时，常常会用到“有效位数”（也称ENOB或有效位）这个术语，但它似乎很少被充分认识或理解，尤其是它对现实世界的信号和测量的意义。在本文中，我们将讨论有效位，以便于更好地理解其对实际信号测试的影响。

# DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库

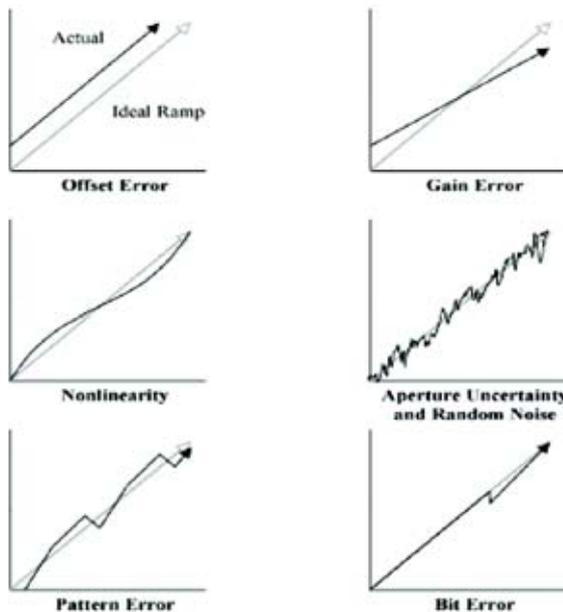


■ 图 1. 各种误差对 ENOB 的作用(摘自 datatranslation.com)

当描述了模数转化系统在一个频率范围内的信号完整性(或恶化)时,有效位是一个代表性的指标。为了更好地理解这一点,让我们首先考虑的几个基本点

- 1、所有的数字化系统中都存在多种误差,这些误差会影响到在特定时间点上获取的电压值的准确性。
- 2、所有这些与幅度和时间有关的误差,会显示为特定时间点上获取的电压与预期或“理想”电压的偏差。
- 3、对一个理想的数字化仪来说,从DC到仪器的最大输入带宽这个范围内,有效位数应和A/D的转换分辨率相同(例如,8位)。在现实中,所有的仪器都不可能是理想的,ENOB通常是低于其A/D转换分辨率的,而且通常恶化程度会随着频率上升而会增大。
- 4、比较两个A/D转换系统时,在相同条件下的性能特点评估至关重要。必须使用相同的激励信号,同时被评估的仪器必须使用相同的设置。

应当指出的是,IEEE1057规范定义了ENOB。同时IEEE1057规范还描述了如何进行ENOB测量。ENOB参数被业界广泛接受为是一种通用的,判定A/D转化器、示波器或其它数字化系统性能优劣的方法。



■ 图 2. 典型的 A/D 转换误差

## 数字化系统的误差

许多论文已经描述过存在于数字化系统中的典型误差。一个很好的参考文件是“测试有效位,评价数字化系统的动态性能”,可通过如下链接查阅:

[http://www2.tek.com/cmsreplive/tirep/4405/2006.07.18.14.07.40\\_4405\\_EN.pdf](http://www2.tek.com/cmsreplive/tirep/4405/2006.07.18.14.07.40_4405_EN.pdf)

图 1 显示的是 A/D 转换系统中,一些常见的、会影响 ENOB 性能的误差实例。

有效位是一个综合指标的表现,包括了图 1 和 2 所示的各种数字化误差的影响。最重要的是,它将这些误差表示为频率的函数,所以您可以通过 ENOB 了解某种仪器在特定频率上的性能是否有问题。应当指出的是,ENOB 的计算是基于所有的频谱成分,但不包括直流,所以图 2 中的典型误差中,有效位不会受到偏置误差的影响(直流效应)。

# of Bits	# of Digitizing Levels	% LSB change of FS	LSB Volt change with 1V Full Scale
8	256	0.39%	3.91E-03
6.65	100	1.00%	9.96E-03
6	64	1.56%	1.56E-02
5	32	3.13%	3.13E-02
4	16	6.25%	6.25E-02

表 1. 数字化设备的分辨率

### 数字化的分辨率

如果一个数字化系统对直流信号具有 8 位的分辨率，它就具有 256 个数字化等级。这意味着，输入信号至少需要改变满量程的 0.39%，才能使 A/D 的转换输出发生改变。如果我们的 8 位 A/D 的满量程范围是 1V，则输入电压变化超过 3.9mV 以上时才会影响 A/D 的输出。3.9mV 以下的输入信号变化可能不会被 A/D 检测到。

现在，考虑如果分辨率降低了。例如，如果分辨率降低到 6.65 位，输入信号至少需要改变满量程的约 1%，才能使 A/D 的转换输出发生改变。输入信号变化如果低于这一水平，则在 A/D 的输出上不会显现这一变化。如果此时的满量程为 1V，则只有大于 10mV 的输入改变才能影响 A/D 的输出。

同样，5 位的分辨率提供了 32 个数字化等级。在这种情况下，输入信号至少需要改变满量程的约 3.13%，才能影响 A/D 的转换输出。如果此时满量程也为 1V，则只有大于 31.3mV 的输入改变才能影响 A/D 的输出。如表 1 所示。

### 有效位数

有效位数通常是作为一个频率的函数，一般(但不一定总是)会随着频率的上升而下降。这一变化和数字化分辨率的情形非常相似。

让我们考虑一台 8 位的实时示波器。这台示波器有 8 位的垂直分辨率和 13GHz 的带宽。在直流和低频的情况下，它可能会有非常接近 8 位的有效位数。但是，随着被测信号频率增加，测试仪器噪声和其它误差的影响将可能降低有效位数的性能。

# of Bits	# of Digitizing Levels	% LSB change of FS	LSB Volt change with 1V Full Scale
6.4	84.4	1.18%	1.18E-02
5.6	49	2.06%	2.06E-02

表 2. 泰克 DPO/DSA70000B 示波器的有效位和分辨率



■ 图 3. DPO70000B 在 100mV/div 下的有效位情况图

图 3 显示了这样的仪器有效位数的变化

图 3 显示的泰克的 DPO/DSA70000B 示波器在从 200MHz 到 13GHz 范围内的性能。正如你所看到的，在 200MHz 时，仪器具有 6.4 位的分辨率。随着频率的增加，有效位在 13GHz 时下降到 5.6 位。

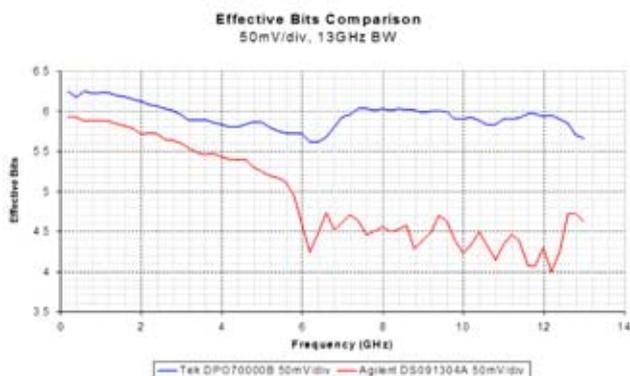
A/D 工作时的“实际”位数和上面“数字化分辨率”小节中谈到的有效位数情况完全一样。表 2 显示不同的有效位的分辨率细节。

这表明，在 13GHz 时，1V 的满量程下，输入信号在 A/D 的输出上将含有 20mV 的噪声。或者说，输入信号中任何小于 20mV 的变化都可能被测试系统中的噪声、失真和其它误差所掩盖。

值得指出的是，此时 A/D 仍然输出 8 位的转换数据，只是其中有 2.4 位其实是噪声、失真或者其它误差。

## DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库



■ 图 4. 两种实时示波器的有效位比较

### 并非所有的数字化系统都有相同的性能

观察图三了解了 DPO/DSA70000B 的有效位性能以后，您可能会好奇：这意味着性能良好还是性能不佳呢？首先应该确定的是，要设计一款从 DC 到 13GHz、16GHz 甚至 20GHz 范围内性能都保持一致的数字化系统，这绝不是一件轻而易举的任务。没有一个系统是完美的，实际情况中，即使最杰出的仪器，系统性能随着频率增高而降低也是预料之中的。

话虽如此，这些数字化系统的性能也有优劣之分，有效位在特定设置下、整个频率范围内的表现提供了一种准确地判断数字化系统信号保真度的简便方法。图四中的有效位曲线是泰克 DPO/DSA70000B 示波器和参数相当另一种示波器的对比。

# of Bits	# of Digitizing Levels	% LSB change of FS	LSB Volt change with 1V Full Scale
5.9	59.7	1.67%	1.67E-02
4	16	6.25%	6.25E-02

表 3. 安捷伦 DS090000 示波器的有效位和分辨率

注意在相同的频率范围内，400mV 满量程情况下，泰克示波器的有效位从 6.4 降至 5.6，这和图三中 1V 满量程的情况相同。同样设置下，竞争对手的示波器有效位从 5.9 下降到了 4。表三所示为竞争对手示波器的有效位水平。

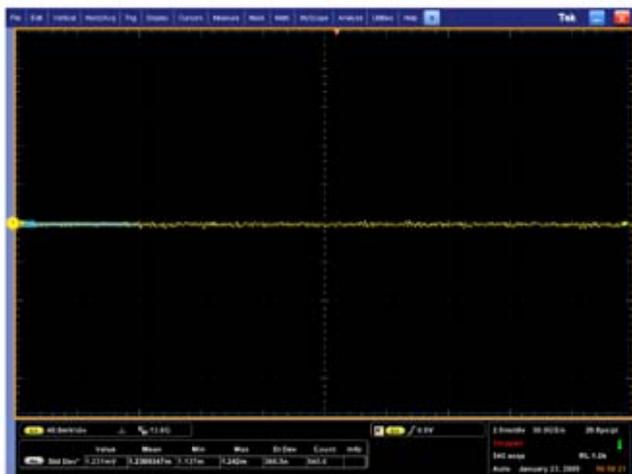
正如你所看到的，有效位为 4 的情况下，1V 的满量程中将含有的由于仪器本身性能带来的噪声将达到 62.5mV。

### 信噪比(S/N)、信号-噪声及失真比(SINAD)与有效位数的关系

正如前面已经阐述的，有效位是数字化系统中噪音和其它误差的总体表现。IEEE - 1241 和 IEEE - 1057 标准给出了有效位的计算公式。这些标准通过下列公式，将有效位和信噪比以及失真 (SINAD) 关联起来：

$$ENOB = \log_2(SINAD) - \frac{1}{2} \log_2(1.5) - \log_2\left(\frac{A}{(FSR/2)}\right)$$

很显然，这个公式表明，有效位性能受信噪比和失真的影响。



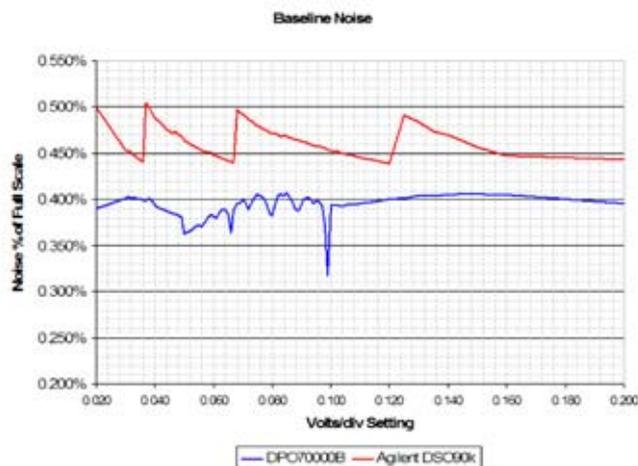
■ 图 5. 测量本底噪声

### 本底噪声 – 不能很好地体现 ENOB 性能

本底噪声(有时也称为剩余噪声)是仪器噪声性能的一种表现,测量这个指标时无需外部输入信号(输入接地)。完成该测试可以使用测量通道的交流有效值,或使用垂直直方图框住信号轨迹进行统计,两种方式可以得到相同的结果。这是一种快捷、方便的测量,但是因为它并不需要激励信号,所以不能告诉你任何在特定的频率下的仪器性能。同时,因为它不能显示出仪器在动态条件下的噪声性能,这些动态条件包括给定交流信号的频率、使用 A/D 尽可能大的动态范围等,所以本底噪声性能并不能很好地表现仪器的信号保真度。

尽管如此,有些仪器厂商会尝试使用本底噪声来证明采集系统的“质量”。在这些情况下,他们指定的特定的 V/div 设置下测试噪声电平。但是,在比较仪器时,公平对比的重点应该是比较“噪声占满量程的百分比”,因为并不是所有仪器在同样的 V/div 设置下都具有相同的满量程。同样重要的是,在比较两种不同的仪器时,仪器应保证有相同的带宽设置。通常情况下,带宽更高的仪器本质上有更高的噪音水平,设置带宽限制将降低噪音。

如前所述,本底噪声的测量是用垂直直方图框住信号轨迹进行统计。直方图的标准差代表了噪音的 RMS 值。一旦得到



■ 图 6. 泰克 DPO70000B 和安捷伦 DSO90000A 的本底噪声比较

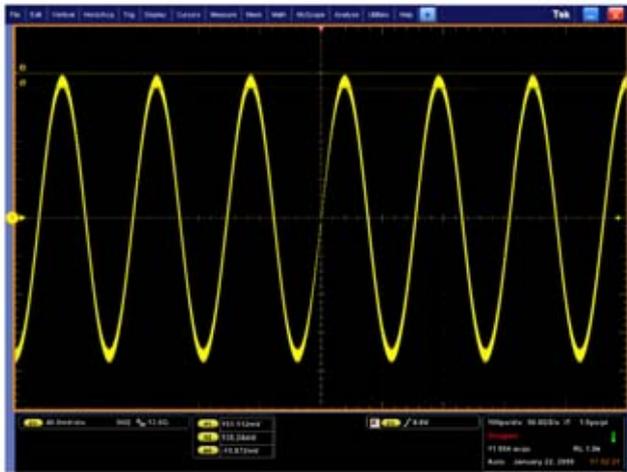
RMS 值,噪声占满量程的百分比就是一个简单的计算了。有些示波器系统提供了一个内置的数学函数,可以直接测量交流 RMS,而不必使用手动设置直方图的方式。该测量的重点是要将直流偏置的影响排除在外,所以必须使用直方图统计或交流 RMS 测量。图 5 所示即是一个本底噪声测量的实例。

图 6 显示了泰克 DPO70000B 和安捷伦 DSO90000A 的本底噪声比较。测试中泰克仪器的带宽限制在 13GHz 以和安捷伦仪器的最大带宽保持一致。这两条曲线显示了两种仪器多个垂直设置下的本底噪声情况,这样,我们才有可能看到的本底噪声按满刻度的百分比随 V/div 设置变化的情况。同时,图四显示了这两种仪器有效位的性能对比。

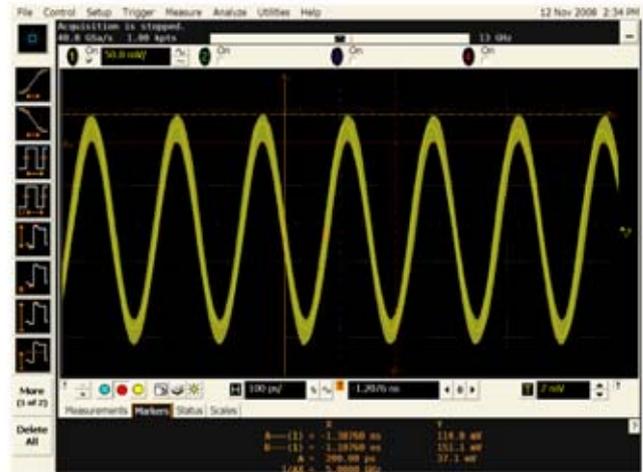
从图六的比较中,你可以泰克示波器的本底噪声性能更好(不同的设置下比安捷伦示波器低约 10% 到 20%),但当查看表二和表三中有效位的对比结果时,本底噪声所占百分比远远小于有效位的影响。两种仪器本底噪声所占满量程百分比的差别一般小于 0.1%,但是我们看到表二和表三中有效位的差别则差不多有满量程的 4.25%。因此,正如您所看到的,本底噪声并不能显示出信号完整性的全貌。最重要的是,因为本底噪声与实际的信号无关,所以它不能反映信噪比或 ENOB 性能。

# DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库



■ 图 7. 泰克和安捷伦示波器捕获 6.5GHz 正弦波的对比



## ENOB 对实际信号测量的影响

有效位性能会对幅度测量和时序测量的结果产生影响，下面我们将讨论这些影响

### ENOB 对幅度测量的影响

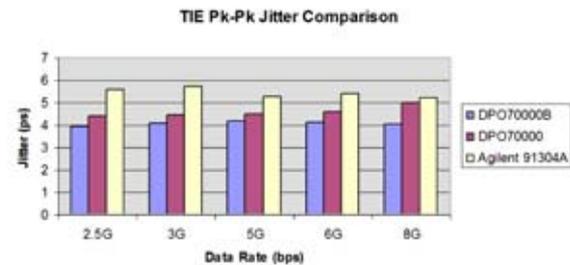
接下来，让我们考虑使用示波器采集一个正弦信号。同样，我们将比较泰克 DPO/DSA70000B 和安捷伦 DSO90000A，以说明有效位的影响如何表现在实际信号的测量中。

如图七，我们将相同的频率为 6.5 GHz 的正弦波输入泰克 DPO/DSA70000B 和安捷伦 DSO90000A 示波器。这两台仪器都为 13 GHz 的带宽，同时这两台仪器的满量程都使用 400mV。仪器都已设置为无限余晖显示方式，因此，所有捕获到的信号变化都可以保留在屏幕上以利于观察。这两台仪器均不使用平均功能，都进行大约 10000 次采集。

泰克示波器上，我们看到信号的顶部大约有 15.9mV 的轨迹“变粗”情况。这大约是泰克示波器满量程的 3%。

安捷伦示波器上，我们看到信号的顶部大约有 37mV 的轨迹“变粗”情况。这大约是安捷伦示波器满量程的 9%。

从图中你可以看到，6.5 GHz 是泰克示波器有效位最低点(约 5.6 比特)，而此时安捷伦示波器的有效位大约是 4.5。

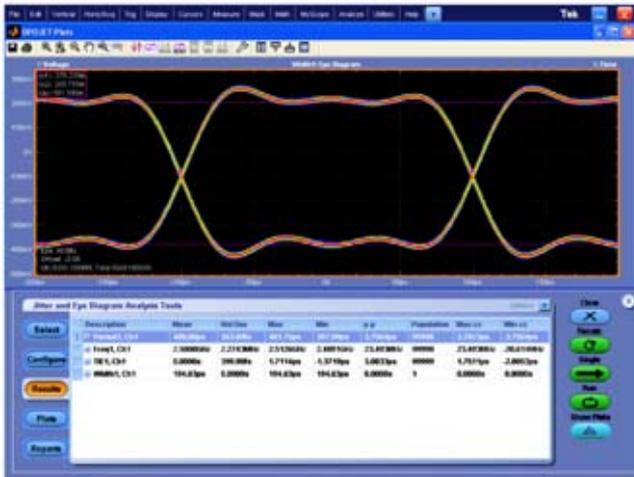


■ 图 8. 抖动测量对比 (TIE 峰峰值对比)

## ENOB 对抖动测试的影响

有效位问题会带来的另一种误差是抖动(来源于孔径不确定性和其它时序误差)。所以，通过抖动测试查看有效位的影响并不奇怪。在图八的试验中，我们使用BERT的码型发生器作为信号源产生0101的时钟码型。BERT产生的信号非常干净，可以认为对示波器来说是没有抖动的。在测试中，码型发生器产生了五种不同速率的信号，然后分别使用泰克和安捷伦的示波器对该信号进行抖动测量，并把测试结果记录在图八中。

泰克DPO/DSA70000B在所有速率下测量到的抖动都是最低的。同时安捷伦 90000A 示波器测试的抖动值比泰克要高出 26%到 41%，两台仪器在不同的速率下测试的结果变化都不大。



■ 图9. 抖动噪底测试的设置

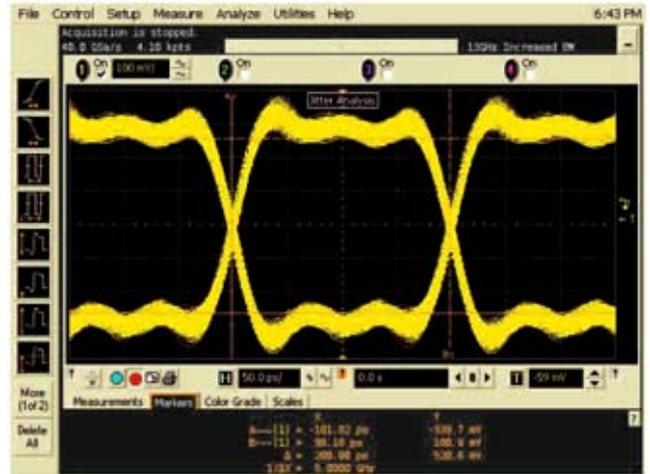
### ENOB 对眼图测试的影响

正如您可能会预料到的，ENOB 的影响也会出现在眼图测试中。因为正如上面谈到的，眼图的幅度和抖动两个参数都会受 ENOB 性能的影响。

下面的两个眼图是对 BERT 码型发生器输出的 5Gbps 的信号测试结果。这表示了示波器对 PCI-E Gen2 和 USB3 信号测试中的表现。这一信号被分别输入到泰克 DPO70000B 和安捷伦 DSO81304A 示波器中测试。在进行测试之前，两台仪器尽可能地使用了相同的设置，并且都被指定进行 TIE (时间间隔误差) 抖动测试。

从这个比较中，你可以看到，抖动和幅度测试结果确实受到 ENOB 的影响。使用泰克示波器测试的抖动峰峰值为 3.08ps，而安捷伦示波器显示的峰峰值结果是 11.4ps。安捷伦示波器测量出了比泰克示波器多 350% 以上的抖动。

同样，幅度测量的结果也显示出了很大的差异。在这个测试中，泰克示波器所示眼图 50% 位置的眼高大约是 582mV，相比之下，安捷伦 50% 位置的眼高只有 521mV。所以这个实例中，安捷伦示波器测量 50% 处的眼高比泰克示波器低了约 10%



### 结论

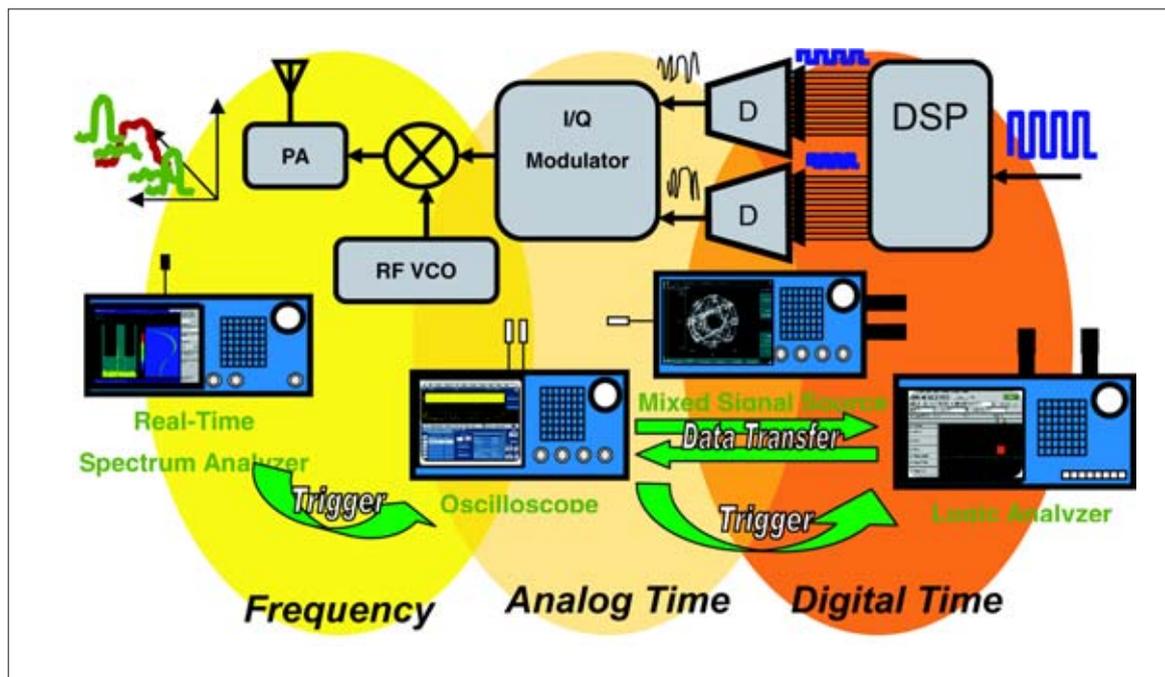
正如我们所看到的，有效位是一种判定包括示波器在内的 A/D 系统信号完整性的通用参数。有效位反映了在指定的设置下，在整个频率范围内，数字化系统各种误差的累计表现。一般来说，有效位随频率的增加而降低。

通过上面的几个试验，我们发现实际工作中可以很容易地看到由于较低的有效位带来的测量误差：幅度测量时增加了噪声；抖动测量时增加了抖动。

随着有效位的降低，仪器的测量精度将下降。这直接导致仪器测量结果的冗余量的降低。例如，您可能会发现，您无法通过某种标准一致性测试，只是因为使用了无法为特定容限测试提供足够余量的仪器。具有较高有效位的仪器由于有较高的测试精度，所以其测试结果的可重复性也更好。

第二代和第三代串行数据标准的数据传输速率对测试仪器的性能提出了更高的要求。用于测试的示波器仅仅拥有足够的带宽是不够的。杰出的 ENOB 性能至关重要，只有这样，才能保证足够的测试余量。

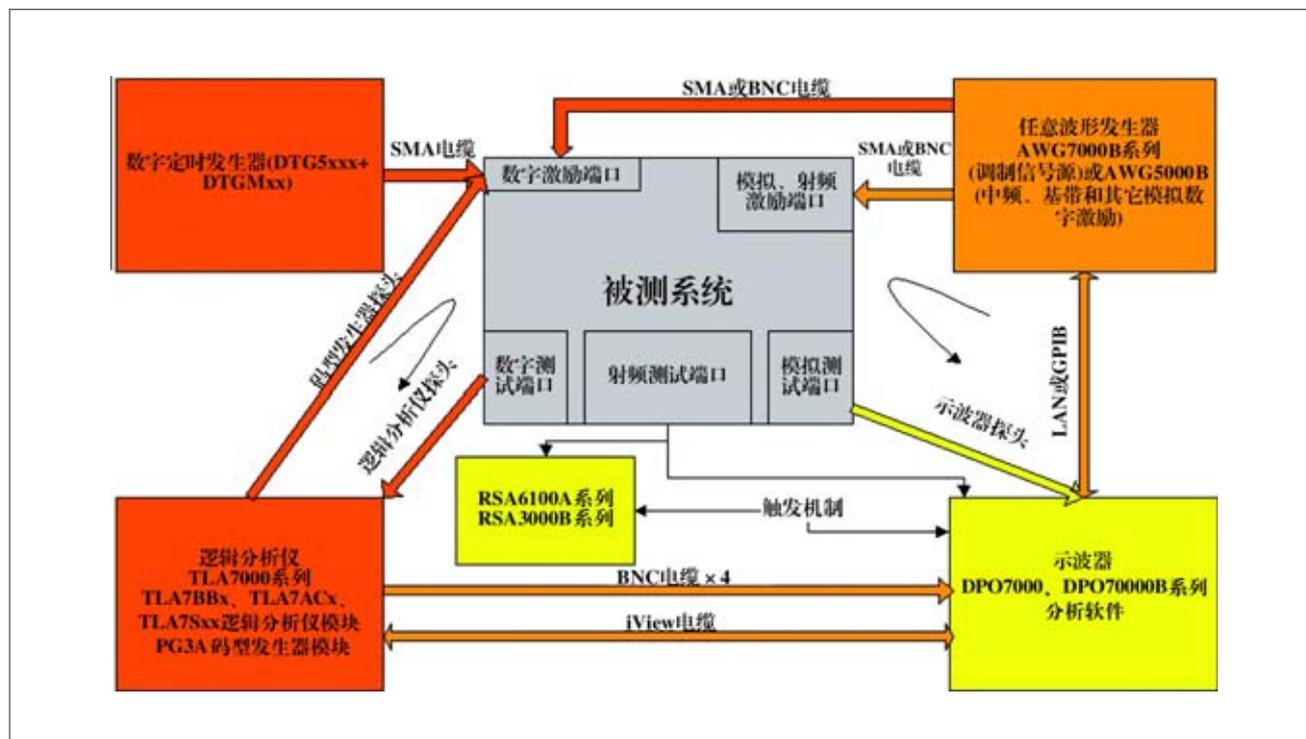
## 五 雷达和宽带 (超宽带) 通信的测试解决方案



■ 软件无线电原理和所需测试仪器示意图

软件定义无线电已日益成为雷达、宽带通信发展的趋势。根据软件定义无线电设计工作对测试设备的要求，泰克公司有以下测量方案。

一、系统原理框图

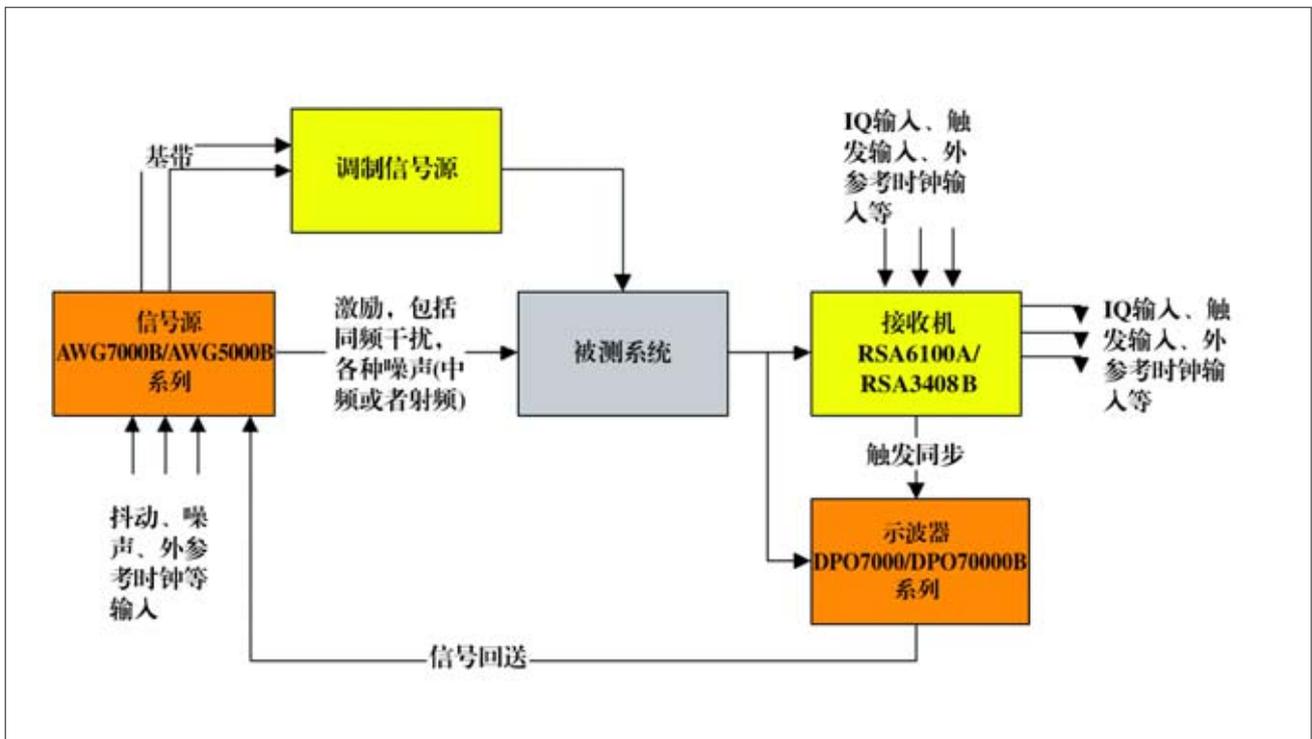


■ 完整的测试系统框图

# DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库

其中基带 - 中频 - 射频部分的较详细框图如下：



## 二、系统组成说明

在被测系统中,包含数字部分(DSP、FPGA和其它总线)、模拟部分(电源等模拟信号测试)、射频部分(包括基带、中频和射频部分)等,所以可能会用到以下测试产品:

- 1、**数字部分调试:** 示波器、逻辑分析仪(包括逻辑分析模块和码型发生器模块);如果需要数字激励数据率大于300M,则可使用带有数字输出选项的AWG5000B系列(速率可达1.2Gb/s, 32通道),或者选择DTG5000系列数据时序发生器和DTGM系列数据时序发生器模块(根据需要选择不同速率)配合以产生高速数字激励;
- 2、**模拟调试部分:** 信号源、示波器和相关分析软件;如果有频谱测试需求,则可能需要频谱仪;
- 3、**射频测试部分:** 发射端测试,需要标准接收机,如RSA系列实时频谱分析仪或者示波器加分析软件(调制带宽超过110M时);接收端测试,需要信号源,泰克的AWG7000B系列可以满足3G以内的基带(I、Q各3G, 4倍过采样率)、9.6GHz以内中频和射频调试需要;AWG5000B可以提供最多达4条模拟通道(两组I/Q)、1.2GS/s的采样率和14bit的垂直分辨率,可以做为高动态范围的基带和中频产生器;AWG5000B还可通过同步机制捆绑多台以实现更多路的同步激励。如果需要更高的射频激励,则可加入一台调制信号源,AWG可以作为基带信号发生器使用;
- 4、**各种相关软件**

## 三、系统工作原理

### 1、各种仪器在系统中的功能

- a) 示波器: 本系统中,示波器可以扮演以下三种角色
  - i. 通用波形测量设备,在数字信号完整性和模拟信号测试里担任时域测试仪器;
  - ii. 宽带接收机,对于大于110M调制带宽的宽带、超宽带信号提供各种分析能力,包括频谱分析、解调等;
  - iii. 采集数据采集设备,为任意波形发生器提供数据;
- b) 逻辑分析仪: 本系统中,逻辑分析仪系统可以扮演以下三种角色
  - i. 通用数字逻辑分析设备,分析各种总线、DSP、FPGA等设备的定时和状态;
  - ii. 并行数字信号源,提供最高300M的并行数字激励;
  - iii. 高达3GHz带宽的多路开关,可以把引进逻辑分析仪模块的信号切换给示波器或者其它测试设备进行分析;
- c) 实时频谱分析仪,可以作为:
  - i. 通用频谱分析设备,得到各种频域测试参数;
  - ii. 调制信号分析设备,对各种模拟、数字调制信号进行解调和分析;
  - iii. 脉冲分析设备,测量各种雷达、通信脉冲参数
  - iv. 频谱监视仪器,提供宽带接收机(示波器或者实时频谱分析仪)的触发同步信号
- d) 数据时序发生器: 当需要的数字激励速率大于逻辑分析仪系统中的码型发生器可以提供的300M时,需要数据时序发生器来做数字激励,它可以提供16路3.35Gbps(DTG5334+DTGM30)或者96路750Mbps(DTG5078+DTGM21)的高速数字信号
- e) 混合信号源——任意波形发生,可以做为:
  - i. 基带、中频激励源
  - ii. 最高达32路@1.2Gb/s的并行数字激励源
  - iii. 其它模拟、数字信号激励,如时钟信号、噪声源等

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

#### 2、系统工作原理和软硬件支持

本系统中，各种仪器在软硬件支持下，可以有机地结合：

- a) 示波器和逻辑分析仪系统可用iLink™工具集组成综合测试系统，对数字信号完整性进行分析。其中，iCapture(联合捕获)工具帮助测试人员只用一根逻辑分析仪探头即可完成示波器和逻辑分析仪两台仪器的探测工作；iView(联合显示)工具能够时间相关地显示数字信号的逻辑以及模拟特性，快速发现信号完整性问题的成因；iVerify(联合验证)提供了多通道眼图分析功能，帮助测试人员立刻找到系统稳定性的瓶颈。iLink 工具集做为标准配置在逻辑分析仪系统中提供；
- b) 示波器可以对 AWG 任意波形发生器实现远控。示波器可以作为信号采集和分析设备，测试各种宽带、超宽带信号，还可以采集标准信号。这些信号采集以后，示波器可以将信号数据(原始的或者根据需要增强的)传送给 AWG，AWG 即可以将需要的信号发送出来；同时，AWG 输出激励信号时，还可以使用数字标尺输出来触发示波器、逻辑分析仪和实时频谱仪采集被测设备的响应。示波器和 AWG 可以实现闭环测试；
- c) 泰克实时频谱分析仪RSA可以完成多个测试任务，包括频谱测试、脉冲信号分析、数字/模拟调制信号分析和频谱监视功能。在对110M带宽以上的调制信号进行分析时，RSA 可以作为宽带接收机(示波器)同步触发源。示波器在分析宽带调制信号时，需要安装相应调制分析软件，如SignalVu 矢量信号分析软件(包括矢量调制信号分析和雷达脉冲分析能力)、TDSUWB 超宽带频谱分析软件等，这些软件作为选件在示波器上提供；另外，泰克还提供多种第三方调制分析软件和雷达、脉冲测试软件；
- d) 如果使用自动测试，则需要用LAN或者 GPIB 将测试仪器互联，并进行必要编程，连接方式见系统原理图；也可加入专门的主控计算机；

#### 3、两个闭环测试

本系统中，有两个闭环的测试回路，分别是：

- a) 示波器——任意波形发生器: 任意波形发生器可以回放原始或者增强的示波器捕获的信号,所以可以构成闭环测试系统；
- b) 逻辑分析仪系统: 由于逻辑分析仪系统具有数字激励和逻辑分析功能,所以它自己就可以成为一个数字部分闭环测试系统

闭环测试回路对于最终实现自动化测试有很重要的意义。

#### 四、泰克公司解决方案的优点

- 1、泰克是当今最大的时域仪器生产商,全球销售量第二的通用仪器提供者,专著于电子测量领域,在测量时变信号中有着很高的成就;
- 2、泰克的 DPO 数字荧光示波器,是全球示波器领域波形捕获率最高的数字示波器,能帮助工程师在最短的时间内找到令人难以琢磨的故障;泰克遥遥领先的触发系统能准确定位这些故障;全面的专用测试解决方案为用户在功率测量、抖动分析、串行解码和调制信号分析等各个方面获得最高的效率;
- 3、泰克的 TLA7000 系列逻辑分析仪,是全球指标最高、速度最快、操作最简单的逻辑分析仪系统;在模块方面,TLA7ACx、TLA7BBx 系列模块是业内采样率最高、测试精度最高、内存最长的模块;探头方面,泰克的逻辑分析仪探头是业界密度最高、负载效应最低、带宽最高、信号保真度最好的产品;PG3A 是业界使用最方便、输出频率最高、输出频率控制最便捷的逻辑分析仪内嵌码型发生器模块;TLA7000 系列逻辑分析仪为各种 FPGA、DSP 和其它处理器、总线测试提供了完整的解决方案;
- 4、泰克的示波器、逻辑分析仪可以通过独一无二的 iLink™ 工具集进行整合,成为时域——数据域综合测试系统,时间相关地观测数字信号的模拟特性和逻辑关系,从物理层特性检验数字信号的完整性问题,这也是混合系统调试所急需的功能;特别是 iCapture 功能,只使用一根逻辑分析仪探头,即可完成多台仪器的探测,是业内操作最方便、对被测电路影响最小的探测方法;
- 5、泰克的任意波形发生器是业界遥遥领先的产品,AWG7000B 系列任意波形发生器采样率可达 6G 或 12G(AWG7122B 双通道复用时可达 24G),能够模拟出从 DC ~ 9.6GHz 的模拟信号;波形内存最高可达 64M(AWG7122B 双通道复用时可达 128M);可实现 16000 个子波形之间的条件跳转,从而组成复杂的激励波形;其输出幅度范围是同类产品中最宽的;是一种功能强大的混合信号源产品。所以 AWG 任意波形发生器可在很大程度上替代函数发生器、脉冲发生器、矢量信号发生器、雷达信号模拟器等。如果配合 RFXpress 射频信号仿真和生成软件,AWG 可以成为专用的宽带/超宽带信号仿真平台,对宽带通信、雷达和信道情况等进行全面模拟;
- 6、全球最高指标的任意波形发生器,可以轻松得到各种复杂波形,在其指标之内,仅仅通过数学模型即可在“理想”

信号上加入各种其它细节,包括噪声、交调等;使用 MCIQ 免费软件,用户可以方便地编辑常用数字或者模拟调制信号;如果用户已经有载频源和调制器、仅需要基带信号,则信号源可选用 AWG7062B(10bit, 6GS/s 采样率)或 AWG7122B(10bit, 12GS/s 采样率),可产生高达 3G(I、Q 各 3G, 4 倍过采样率)的基带信号,AWG5000B 系列可产生两组 I、Q 各 480M(14bit, 1.2GS/s 采样率, 2.5 倍过采样率)的基带信号;

- 7、泰克的数据时序发生器,能产生最高达 3.35Gbps、最宽达 96 路并行数字激励信号;使用 Windows 操作系统,易于使用;在抖动容限测试、编码信号测试等方面有很好的适应能力;性能价格比极高。
- 8、RSA 系列实时频谱分析仪,可以提供调制域分析、雷达脉冲测试等功能。可以替代传统频谱分析仪、调制域分析仪甚至峰值功率计;时域、频域、解调域可以同时关联测量,用一台仪器完成了以往需要 3 台仪器才能完成的功能;RSA 提供的频率触发能力为其他的频谱仪和矢量信号分析仪所不具备的,对信号的捕获和分析提供了强大的工具;增强的频谱图功能,可以直观观察信号在频域内的动态变化;方便的自动测量功能,可以直接测量通道功率,载波频率,占用带宽,以及杂散。在此系统中,RSA 可作为接收机,对信道各处的基带、中频或射频信号进行测试,可测项请参考其产品数据资料,可以满足客户对于数字/模拟解调、矢量分析、眼图等测量,还可将解调后的基带信号通过后面板输出,供用户做进一步处理。
- 9、对于一些频谱仪无法直接分析的宽带突发信号,频谱仪可以监控其频谱,在这些突发信号出现时触发,同时输出触发信号触发示波器采集和分析。泰克示波器可提供最高每通道 50GS/s 的采样率、最宽 20GHz 带宽以及每通道最大每通道 250M 的存储深度,使用其采集的数据,并通过示波器上安装 SignalVu 矢量信号分析软件进行数据处理,可得到宽带信号的频域-时域-调制域等多种特征数据。而这些数据用传统矢量信号分析仪或者频谱仪很难测量得到。

#### 五、补充说明

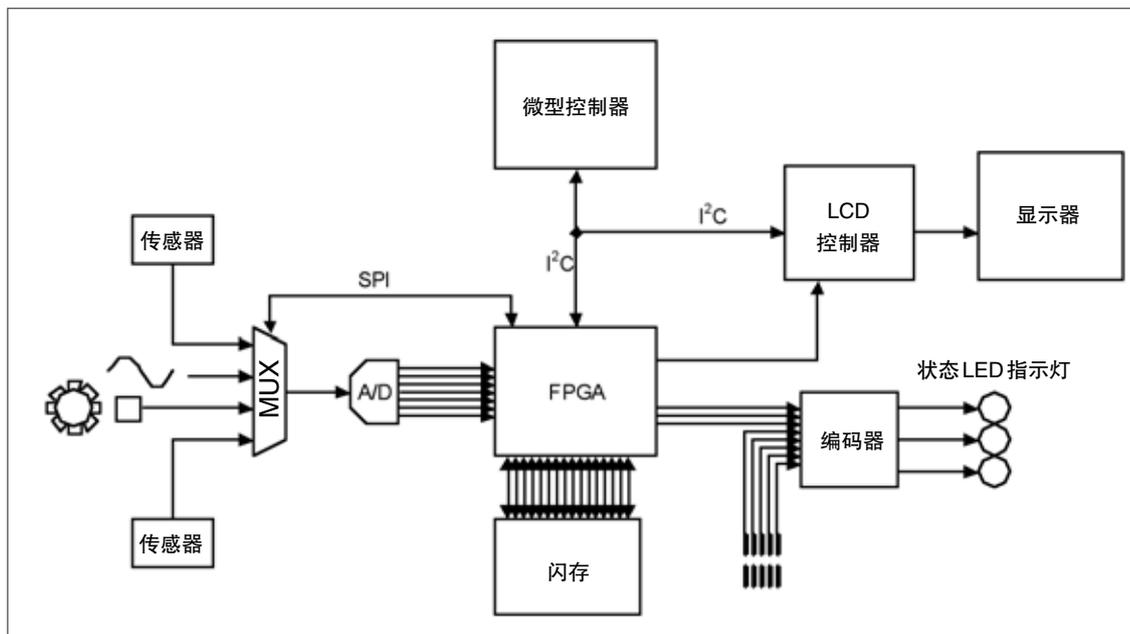
- a) 在设计阶段,做好可测性设计,留出必要的测试接口;
- b) 设计工程师给出详细的测试方法、流程和指标,以保证测试工作的一致性;
- c) 其它需要的附件(各种电缆、探头等),本方案简介中未作详细介绍,如果需要,可以向泰克公司技术人员咨询。

## 六 使用泰克混合信号示波器 调试混合信号嵌入式设计



### 引言

当前的嵌入式设计工程师面临着系统复杂程度日益提高的挑战。典型的嵌入式设计可能会包括各种模拟信号、高速和低速串行数字通信、微处理器总线等等。I<sup>2</sup>C 和 SPI 等串行协议通常用于芯片间通信，但不能在所有应用中代替并行总线。



■ 图 1. 混合信号嵌入式系统。

微处理器、FPGA、模数转换器(ADC)和数模转换器(DAC)等集成电路给当前嵌入式设计带来了独特的测量挑战。工程师可能需要解码两个IC之间的SPI总线，同时在一块系统电路板上观察ADC的输入和输出。图1是混合信号系统实例。

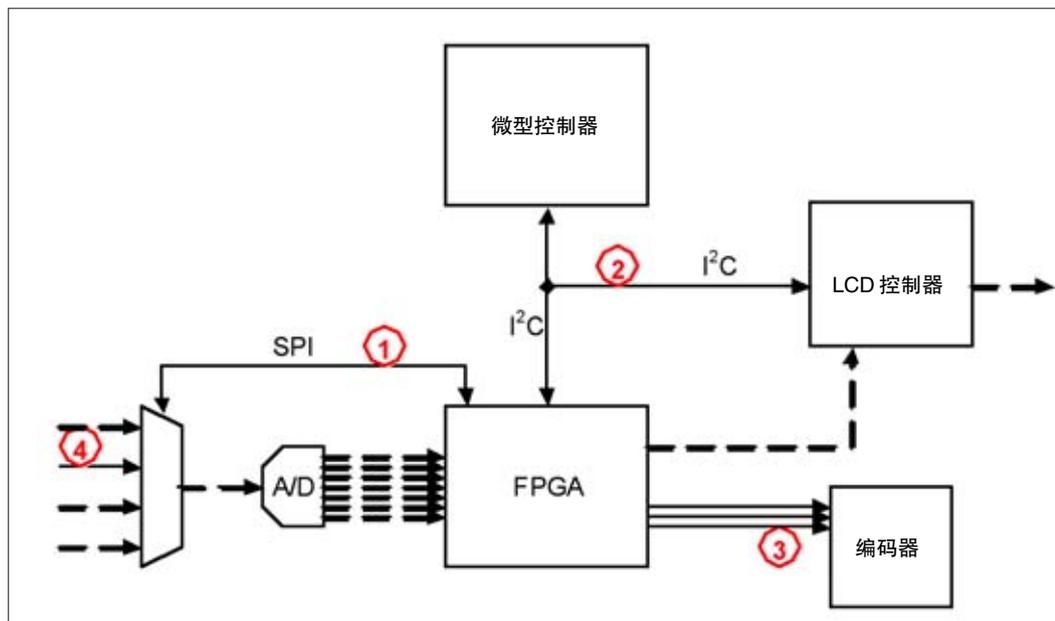
对配备4通道示波器的工程师来说，调试图1所示的硬件是一件困难而又让人畏缩的任务。许多工程师用惯了示波器，同时为了节约时间，可能会选择购买三四台示波器，以便一次探测多个信号。逻辑分析仪可以探测多个数字信号，但调试任务非常复杂，使用逻辑分析仪所带来的设置和学习过程有些不值得。幸运的是，对面临这一任务的工程师，泰克MSO4000、MSO3000和MSO2000系列混合信号示波器(MSO)可以满足他们的需求。泰克MSO系列把16通道逻辑分析仪的基本功能与泰克4通道示波器倍受信任的性能结合在一起。本应用指南介绍了混合信号嵌入式设计的调试，演示了泰克MSO4000、MSO3000和MSO2000系列提供的业内领先的性能。

### 使用MSO系列同时调试多个串行协议

嵌入式设计工程师通常使用串行协议，如I<sup>2</sup>C和SPI，以简化电路板上系统模块之间的通信。这些串行协议可以降低布线的复杂性，但传统示波器一直很难调试其实现方案。设计人员一般会被迫手动解码采集的串行数据，或从示波器导出数据，以进行后期处理和解码。使用示波器解码串行数据可以为嵌入式设计工程师节约无数个小时的调试时间，允许工程师实时查看硬件和软件的影响。

## DPO 数字荧光示波器

■ 技术文库



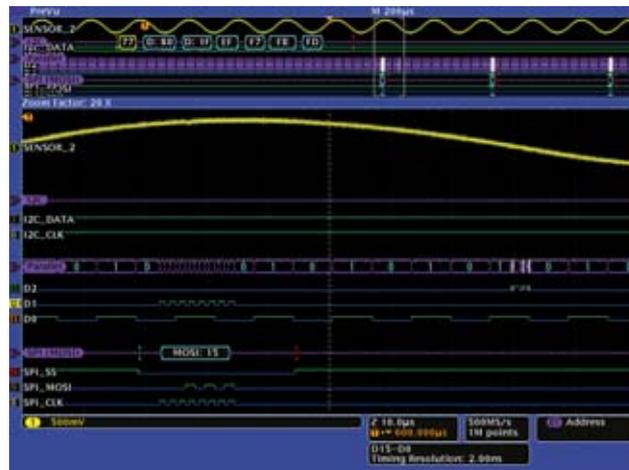
■ 图 2. 带有探测点的采集子系统。

尽管 DPO 系列示波器可以使用最多四条通道探测串行数据，但许多常用串行协议要求三条或三条以上的线。工程师通常需要同时解码和显示多条串行总线，观测其时间相关性。泰克MSO系列把DPO系列的串行触发和解码功能与16条新增数字通道结合在一起。除I<sup>2</sup>C、SPI、CAN、LIN和RS-232外，MSO系列还支持触发和解码RS-232和并行总线。MSO4000和MSO3000系列还支持触发和解码I<sup>2</sup>S、左对齐、右对齐和TDM音频总线。此外，MSO3000系列还支持触发和解码FlexRay总线。通过MSO系列示波器，工程师可以同时探测和解码多条串行总线及自定义并行总线。下面的实例使用MSO系列，调试图1所示的嵌入式设计中复杂的多芯片通信错误。

在系统最初调试过程中(如图1所示)，系统偶尔遇到电路板上状态LED指示灯表明发生故障的情况。状态LED指示灯报告的错误不明确，导致系统工程师不能确定问题是由硬件导致的还是由软件导致的。以前，类似错误一直源于模拟复用器输入上的信号质量差，但工程师已经成功更换了导致信号保真度问题的硬件。由于系统工程师怀疑错误可能源于复用器输入之外的其它来源，他决定探测到复用器的模拟输入及多条数字总线，以全面查看系统状况。MSO系列为调试提供了4条模拟通道和16条数字通道，它连接到图2中标为1-4的信号上。



■ 图 3. MSO4000 显示了 I<sup>2</sup>C、SPI 和并行总线及 CH1 模拟信号。



■ 图 4. Wave Inspector 用来放大和显示分组细节。

图 3 显示了 MSO 系列同时探测 SPI 总线(1)、I<sup>2</sup>C 总线(2)、3 位并行总线(3)和模拟输入(4)的屏幕快照。由于错误可以被隔离到某个子例程，因此示波器配置成单次采集，触发特定的 I<sup>2</sup>C 活动。把记录长度设置成 1M 点保证了可以准确地捕获 I<sup>2</sup>C 总线上事件周围的所有有用信息。工程师运行子例程，迅速查看 MSO 系列，了解系统中发生的情况。CH1 上显示的 MUX 输入上清楚的模拟波形确认了工程师的疑问，表明硬件问题已经得到解决，错误发生在其它地方。示波器触发和解码从微控制器中写入的 I<sup>2</sup>C 数据。工程师注意到 SPI 上的活动及在传输 I<sup>2</sup>C 数据后很快显示了标有 D1 和 D2 的信号。工程师怀疑这些总线上的活动，因为他认为执行的功能主要涉及 LCD 控制器。由于示波器已经解码 I<sup>2</sup>C 数据值，因此工程师可以看到微控制器已经把 I<sup>2</sup>C 数据写入地址 0x77。地址 0x77 是 FPGA 的地址，但工程师认为子例程把数据写入地址 0x76，这是 LCD 控制器的地址。

图 4 显示了同一采集，其中使用 Wave Inspector® 导航和搜索功能放大 SPI 和并行总线的细节。SPI 数据在屏幕上解码成从主设备(FPGA)到从设备(MUX)的写入，数据值为 0x15。这一 SPI 命令指示 LWTYMUX 改变信号路径使用的输入。输入信号中这种意想不到的变化导致 FPGA 向并行总线上的状态 LED 指示灯发送一个错误代码。在图 4 中也可以观察到这些并行总线的错误代码和解码。

嵌入式设计工程师可以迅速确定是软件漏洞导致了系统问题，因为 MSO 系列能够同时查看和解码所有相关信号。软件编程人员错误地从微控制器到 FPGA 写入 I<sup>2</sup>C 数据，而分组的预计目标是 LCD 控制器。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库



■ 图 5. MUX\_OUT 上的白色边沿表明提供了更详细的信息。

### 下一代数字波形显示帮您揭示问题

在改动系统软件，校正上一节中介绍的地址漏洞后，嵌入式设计工程师继续测试更多的系统功能。在进行测试时，他注意到状态 LED 指示灯偶尔指明错误。与上一节中描述的错误不同，工程师不确定怎样重建看到的错误。错误似乎具有随机特点，不能隔离到系统的某个功能或子例程。

嵌入式设计工程师对错误的随机特点感到很迷惑，不确定从哪儿入手查找来源。查找错误来源的一个选项是使用示波器随机探测系统，以期捕获随机事件。尽管工程师过去一直使用这种方法，但他知道，连接到所有相关信号、正确配置的 MSO 系列示波器可以用少得多的时间找到错误。上一节中大多数探测点仍连接到示波器上。CH1 探头移动到活动的 MUX 输入上，这是来自传感器 3 的数字信号。除这 4 个探测点外，工程师使用一条数字通道探测 MUX 输出。

FPGA 通过 3 位并行总线传送值 0x7，表明已经发生错误。为隔离问题，MSO 系列配置成捕获单次采集，它把触发事件设置成并行总线值 0x7。图 5 显示了采集结果。在这种情况下，并行总线解码和触发节约了时间，减少了混淆，因为可以简便地隔离错误条件。这一采集过程中使用的 1M 记录长度允许工程师观察触发事件前和触发事件后信号的关键细节。

乍一看，图 5 所示的信号似乎行为正常，但系统工程师很快确定 MUX\_OUT 信号上出现了独特的两个边沿转换。图 5 所示的 MUX\_OUT 信号上的白色转换向用户表明这些信号部分存在着更多的信息。MSO 系列的多边沿检测功能突出显示了波形区域，通过缩放可以揭示频率较高的数字脉冲。在使用 Wave Inspector® 放大波形细节时，图 6 揭示了第一个白色转换背后的细节。图 5 中画出的白色转换的信号部分实际上是 MUX\_OUT 信号上的一个毛刺。



■ 图 6. Wave Inspector 揭示了 MUX\_OUT 信号上的毛刺。



■ 图 7. CH2 显示 MUX\_OUT 的更多细节。



■ 图 8. CH1 显示了 MUX\_OUT 信号中的串扰来源。



■ 图 9. 在改动 PCB 后，串扰消失了。

图6显示了MSO系列中模拟通道和数字通道之间的时间相关性。CH1(SENSOR\_3)上显示了到MUX的输入，数字通道D14 (MUX\_OUT)上则可以观察到 MUX 输出。工程师注意到，尽管MUX输出有一个毛刺，但到MUX的输入似乎没有毛刺。在使用数字通道识别毛刺后，工程师决定把CH2连接到MUX输出上，更仔细地进行考察。图7显示了采集结果，其中示波器仍配置成触发并行总线值0x7。图7关闭了SPI和I<sup>2</sup>C总线

的波形，把重点放在相关的主要信号上。在MUX输入和输出上使用模拟探头，发现输出上存在的毛刺在输入信号上并不存在。图7显示，MUX\_OUT 信号上的毛刺出现了很短的时间，然后FPGA发送错误代码。这两个信号之间的时间关系表明，毛刺可能是工程师看到的问题。工程师使用同一配置重复采集几次，看到每次的行为都与图7类似。

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

在分析MSO系列的屏幕快照后，嵌入式设计工程师怀疑串扰可能是MUX\_OUT信号上的毛刺来源。在检查图5中监测的所有信号后，没有任何信号是串扰来源。在更详细地检查电路板布局时，工程师找到印刷电路板(PCB)上MUX\_OUT轨迹旁边有一个通路。工程师使用CH1探测PCB上的通路，等待并行总线的另一个触发。得到的屏幕快照如图8所示。图8显示，CH1上捕获的信号从低到高转换在时间上与MUX\_OUT信号的正毛刺直接相关。相应地，从高到低转换直接与MUX\_OUT信号的负毛刺直接相关。

在用一段时间在电路板上对干扰信号重选路由后，工程师把MSO系列示波器配置成触发CH1。图9显示MSO系列触发CH1转换，但在MUX\_OUT信号上没有显示毛刺。由于MUX\_OUT信号不存在毛刺，因此并行总线没有生成错误条件。在改动电路板之后，串扰消失了，允许嵌入式设计工程师完成系统评估。

### 小结

如本应用指南所示，MSO系列 – MSO4000、MSO3000和MSO2000为开发和调试嵌入式设计的工程师提供了一个异常强大的工具。MSO4000把16条时间相关的数字通道与泰克4通道示波器倍受信任的性能和直观的界面结合在一起。工程师现在可以使用MSO系列，而不用搜索多台示波器或学习怎样操作逻辑分析仪。

MSO系列能够同时触发和解码并行总线和串行标准，如I<sup>2</sup>C、SPI、CAN、LIN、FlexRay、RS-232/422/485/UART和I<sup>2</sup>S/LJ/RJ/TDM，对评估当前嵌入式设计中硬件和软件复杂交互的工程师提供了宝贵的工具。

### MSO系列提供了多种型号，可以满足您的需求和预算：

	MSO4000 系列	MSO3000 系列	MSO2000 系列
带宽	1 GHz, 500 MHz, 350 MHz	500 MHz, 350 MHz, 100 MHz	200 MHz, 100 MHz
通道数量	2条或4条模拟通道, 16条数字通道	2条或4条模拟通道, 16条数字通道	2条或4条模拟通道, 16条数字通道
记录长度(所有通道)	10 M	5 M	1 M
采样率(模拟)	5 GS/s*, 2.5 GS/s	2.5 GS/s	1 GS/s
采样率(数字)	500 MS/s (全部记录长度) 16.5 GS/s (以触发为中心 周围 10 k 点)	500 MS/s (全部记录长度) 8.25 GS/s (以触发为中心 周围 10 k 点)	1 GS/s (使用任意一条通道: D7 – D0) 500 MS/s (使用任意一条通道: D15 – D8)
彩色显示器	10.4 英寸 XGA	9 英寸 XGA	7 英寸 WQVGA
并行总线分析	是	是	是
串行总线触发和分析应用模块	DPO4EMBD: I <sup>2</sup> C, SPI DPO4COMP: RS-232/422/ 485/UART DPO4AUTO: CAN, LIN DPO4AUTOMAX: CAN, LIN, FlexRay DPO4AUDIO: I <sup>2</sup> S/LJ/RJ/TDM	DPO3EMBD: I <sup>2</sup> C, SPI DPO3COMP: RS-232/422/ 485/UART DPO3AUTO: CAN, LIN DPO3AUDIO: I <sup>2</sup> S/LJ/RJ/TDM	DPO2EMBD: I <sup>2</sup> C, SPI DPO2COMP: RS-232/422/ 485/UART DPO2AUTO: CAN, LIN
其它应用支持	电源分析 HDTV 和自定义视频	电源分析 HDTV 和自定义视频	–

\*1 GHz 带宽型号。

## 七 参考资料索引

文档名称	文档说明	文档编号
数字荧光示波器 DPO2000/MSO2000 系列	产品资料	3GC-22048-x
数字荧光示波器 DPO3000/MSO3000 系列	产品资料	3GC-21364-x
数字荧光示波器 DPO4000/MSO4000 系列	产品资料	3GC-20156-x
数字荧光示波器 DPO7000 系列	产品资料	4MC-19046-x
数字荧光示波器和数字串行分析仪 DPO-DSA70000B 系列	产品资料	55C-23032-x
示波器附件选型指南	产品资料	60C-14232-x
SMD 有源探头 -P6245-P6243	产品资料	60C-13989-x
Z-Active™ 差分探头家族 -P7313 • P7380A • P7360A • P7340A	产品资料	51C-17891-x
TriMode™ 探头家族 -P7500 系列	产品资料	51C-20271-x
SignalVu 矢量信号分析软件	产品资料	37C-22314-x
抖动和眼图分析工具 DPOJET	产品资料	61C-21170-x
HDMI 一致性测试软件 TDSHT3	产品资料	61C-17935-x
以太网一致性测试软件 -TDSET3	产品资料	61C-16429-x
TDSRT-Eye V2.0- 串行数据一致性和分析软件	产品资料	61C-16615-x
协议触发和解码应用	产品资料	61C-18594-x
CAN 和 LIN 定时和协议解码软件	产品资料	61C-19060-x
电源测量和分析软件 -DPOPWR	产品资料	61C-19262-x
UWB 分析软件	产品资料	61C-20587-x
通信脉冲测量软件 -TDSCPM2	产品资料	55C-14971-x
理解有效位数在示波器测量中的意义	应用解决方案	55C-23761-x
理解示波器带宽上升时间和信号保真度.	应用解决方案	55C-18024-x
信号完整性基础	应用解决方案	54C-22137-x
怎样最大限度地利用泰克高性能示波器	应用解决方案	55C-20959-x
使用长记录采集	应用解决方案	55C-23338-x
看到别人看不到的世界 -DPO 背后的故事	应用解决方案	55C-14546-x
串行数据解决方案选型指南	应用解决方案	55C-22236-x
使用 FastFrame™ 分段存储技术	应用解决方案	55C-12112-x
验证信号完整性设计人员手册	应用解决方案	55C-17671-x
DPO 捕获更多的信号信息, 加快设计和调试速度	应用解决方案	55C-16965-x
DDR, DDR2 和 DDR3 SDRAM 解决方案	应用解决方案	52C-21483-x
以太网一致性测试支持	应用解决方案	61C-23021-x
泰克 DisplayPort 测试解决方案 - 支持源端、接收器和电缆 DisplayPort 物理层测试	应用解决方案	61C-22852-x

## DPO 数字荧光示波器

### ■ 技术文库

使用 TDSHT3 一致性测试软件支持 HDMI CTS V1.3c 一致性测试	应用解决方案	55C-20934-x
泰克 PCI Express 解决方案	应用解决方案	55C-18685-x
SATA 一致性测试解决方案	应用解决方案	55C-18700-x
泰克 USB 测试解决方案	应用解决方案	55C-17700-x
为抖动测量选择适当的平台	应用解决方案	37C-19858-x
任意 FIR 滤波器的原理设计和应用	应用解决方案	4HC-19378-x
电源测量和分析入门手册	基础培训教程	55C-18412-x
深入了解示波器	基础培训教程	03C-8605-x
探头 ABC	基础培训教程	60C-6053-x
信号完整性原理	基础培训教程	55C-15465-x
理解和检定定时抖动	基础培训教程	55C-16146-x
串行数据一致性测试和验证测量基础知识.	基础培训教程	55C-16736-x
嵌入式系统 - 测试和测量挑战	基础培训教程	54C-21287-x
数字设计调试指南	基础培训教程	55C-19175-x
使用和维护高性能示波器 DPO7000 和 DPODSA70000B 系列最优方法	基础培训教程	81C-23825-x

更多的技术资料 and 英文版应用文章，请访问以下泰克公司网站：

英文资料：<http://www.tek.com>

中文资料：<http://www.tek.com.cn>

撰写：田铮

2009年7月

**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) 6235 1210/1230  
传真: (86 10) 6235 1236

**泰克上海办事处**

上海市静安区延安中路841号  
东方海外大厦18楼1802-06室  
邮编: 200040  
电话: (86 21) 6289 6908  
传真: (86 21) 6289 7267

**泰克深圳办事处**

深圳市罗湖区深南东路5002号  
信兴广场地王商业大厦G1-02室  
邮编: 518008  
电话: (86 755) 8246 0909  
传真: (86 755) 8246 1539

**泰克成都办事处**

成都市人民南路一段86号  
城市之心23层D-F座  
邮编: 610016  
电话: (86 28) 8620 3028  
传真: (86 28) 8620 3038

**泰克西安办事处**

西安市东大街  
西安凯悦(阿房宫)饭店345室  
邮编: 710001  
电话: (86 29) 8723 1794  
传真: (86 29) 8721 8549

**泰克武汉办事处**

武汉市汉口建设大道518号  
招银大厦1611室  
邮编: 430022  
电话: (86 27) 8781 2760/2831

**泰克香港办事处**

香港铜锣湾希慎道33号  
利园3501室  
电话: (852) 2585 6688  
传真: (852) 2598 6260

其他地区请联系 Tektronix 公司 1 (503) 627-7111

可从以下网址了解我们的最新产品信息:

[www.tektronix.com.cn](http://www.tektronix.com.cn)



版权所有 © 2009, Tektronix, Inc. 版权所有。Tektronix 产品受美国 and 外国专利权(包括已取得的和正在申请的专利权)的保护。本文中的信息将取代所有以前出版的资料中的信息。保留更改产品规格和价格的权利。TEKTRONIX 和 TEK 是 Tektronix, Inc. 的注册商标。引用的其它所有商标名称均为他们各自公司的服务标志、商标或注册商标。

48C-21038-2

**Tektronix**<sup>®</sup>