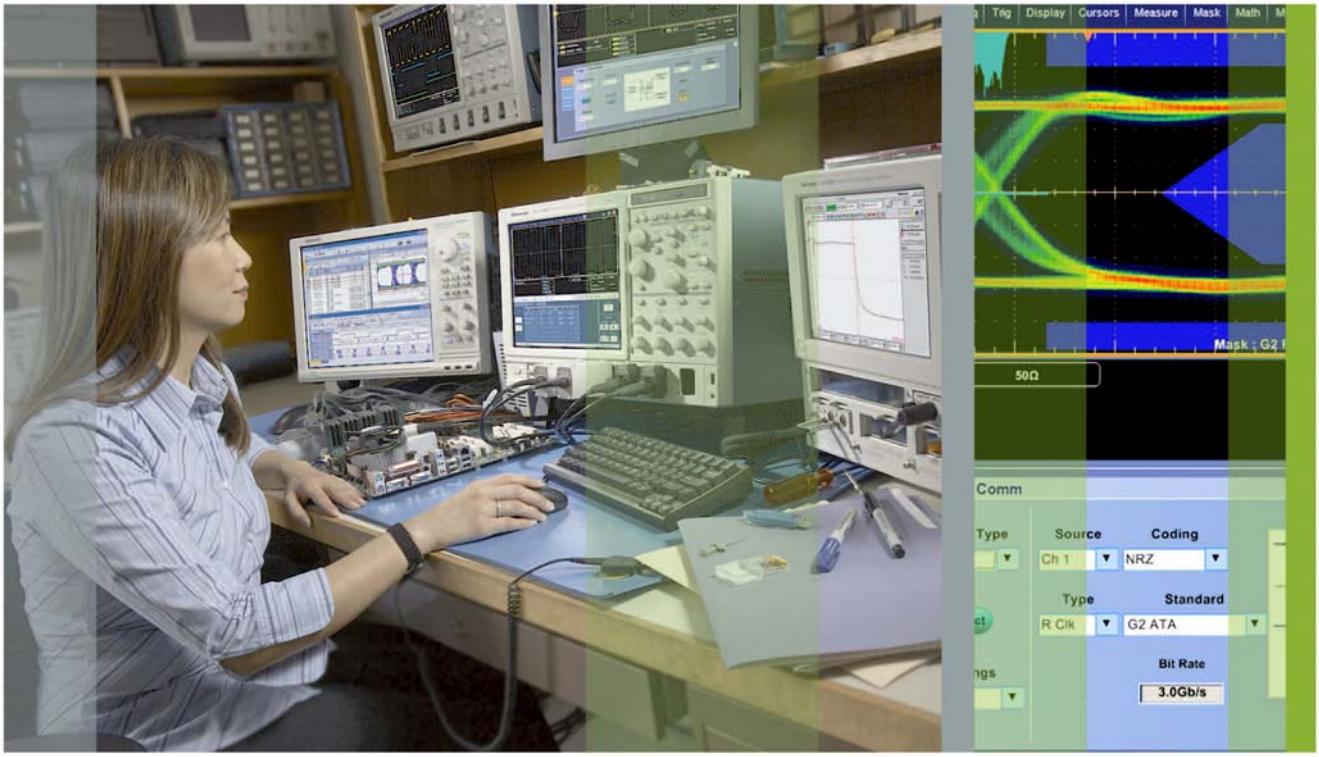


触发基础知识

DPO7000、MSO/DPO/DSA70000系列示波器Pinpoint®/可视触发及高级搜索和标记技术

入门手册

Tektronix®

引言……3
触发基础知识……4 – 6
边沿触发……4
触发源……4
独立触发电平设置……5
触发电平和斜率……5
触发位置……6
触发上沿和下沿……6
高级触发类型和控制……7 – 15
毛刺触发……7
宽度触发……8
欠幅脉冲触发……8
超时触发……9
跳变时间触发……9
建立时间和保持时间触发……10
窗口触发……10
逻辑限定……11
逻辑码型触发……11
逻辑状态触发……11
主触发事件……12
复位触发……13
顺序逻辑触发……14
更多的触发选择……15
专用触发……16 – 17
通信触发……16
视频触发……16
存储系统触发……6
低速串行协议触发……17
使用Pinpoint®触发验证高速串行总线设计……17 – 20
串行码型触发……17
码型锁定触发……17
串行通路违规触发……18
信标宽度违规触发……19
8b/10b协议触发和解码……19
触发限定的抖动分析……20
可视触发……21
高级搜索和标记……22–25
高级搜索和标记……22
总结 ……26

引言

示波器为了解电子信号世界提供了一个窗口。早期示波器只能显示重复的事件或连续的电气事件，限制了示波器的应用范围。之后在1947年，Howard Vollum及其新成立的公司—泰克公司推出了第一个商用触发扫描示波器。

第一台触发扫描示波器带有校准后的格线显示器，把示波器从查看电子脉冲整体特点的定性工具转化成定量测量设备，这种设备变革了整个电子行业。工程师第一次能够捕获瞬态事件，在各类信号上进行精确的电压和定时测量。自其推出最早的示波器型号以来，泰克的触发创新技术一直领先于市场。

触发事件定义了一个时点，在这个时点上，一个由波形信息组成的重复“窗口”将稳定下来，以进行查看。想象一下您正在驾车旅游。您必需在最少的时间内到达目的地。但是，您还必需在沿途拍下特定的风景照片。您知道自己可以迅速到达目的地，因此您的车速非常快，但您会采取什么策略在关心的点拍照？一种选择是在开车时随机抓拍照片，希望能够捕获到风景图像。很明显，这太多地依赖于运气。

比较符合逻辑的方法是告诉司机在哪里停车能够得到清晰的感兴趣点的照片。许多示波器应用中的波形数据与您根本不关心的景物类似。在高速调试应用中，电路可能会在99.999%或(通常)更高的时间内正常工作，而只有0.001%的时间导致系统瘫痪，或者这部分才是您需要更详细地进行分析的波形。示波器可能会有许多主打指标(带宽、采样率、记录长度)，迅速完成这一过程，但如果不能捕获关心的数据，那么这种调试和分析工具将非常有限。

泰克DPO7000和MSO/DPO/DSA70000示波器系列中的Pinpoint® 触发系统提供了业内最完善的高性能触发系统。当然，Pinpoint触发系统包括常用的一系列门限和定时相关触发。同样重要的是，它还提供了A事件和B事件双触发、逻辑限定、窗口触发和复位触发功能，在定义触发事件时提供了几乎无限的灵活性。

Pinpoint触发系统采用硅锗技术(SiGe)半导体实现，所有触发功能都可以使用示波器的全部模拟带宽。Pinpoint触发系统的特性和功能可以“精确定位”高速数字设计中最难检的关心的事件。DPO7000和MSO/DPO/DSA70000系列的高级搜索和标记功能可以找到波形中独特的事件。它扫描采集的波形数据，找到多次发生的事件，并在每次发生时标记事件。搜索和标记功能与Pinpoint触发系统有着密切的关系，因为它们都可以用来区分信号特点。搜索和标记包括Pinpoint触发系统的信号形状区分功能，并把它们扩展到实时通道及存储的数据和数学波形中。

本文讨论了触发技术基础知识，以及Pinpoint触发与搜索和标记功能怎样把实时示波器中的触发技术提升到全新的水平。

触发基础知识

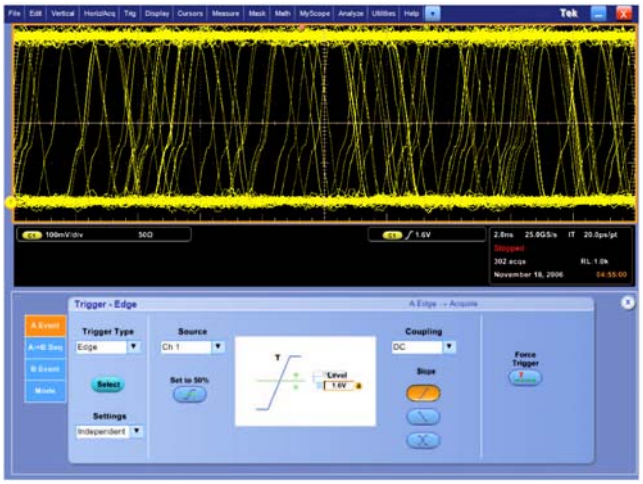


图 1. 没有触发的示波器显示画面。

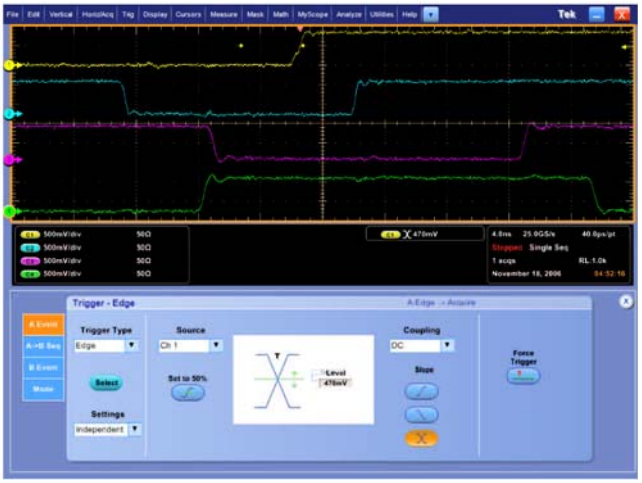


图 2. 边沿触发菜单。

示波器的触发功能在信号的相应点上同步水平扫描，这对清楚地检定信号至关重要。触发控制功能可以稳定重复的波形，捕获单次波形。通过重复显示输入信号的同一部分，触发使得重复的波形静态出现在示波器显示画面上。想象一下如果每次扫描都从信号不同地方开始，屏幕上显示的结果会有多乱，如图1所示。在触发扫描示波器出现之前，用户目测波形前则必须查看这种显示画面。

边沿触发

所有现代示波器都提供了边沿触发，它是原始的、最基本的、最常见的触发类型。边沿触发通常足可以使用户查看波形的一般幅度和定时特点。图2是Pinpoint触发系统边沿触发的设置窗口。

触发源

几乎总是必需要触发示波，但不一定要在显示的信号上触发。通常用于触发扫描的来源包括：

- 进入任何输入通道的信号
- 应用到输入通道上的信号之外的外部来源
- “工频”电源信号
- 示波器内部根据一条或多条输入的评估结果计算得出的信号

在大多数时间内，都可以把示波器设置成在显示的通道上触发。但是，仪器可以在任何通道输入上触发，而不管其是否显示；也可以从与连接专用触发输入的来源上触发。大多数泰克示波器还提供了一个离散输出，为另一台仪器提供触发信号，如计数器、信号源、等等。

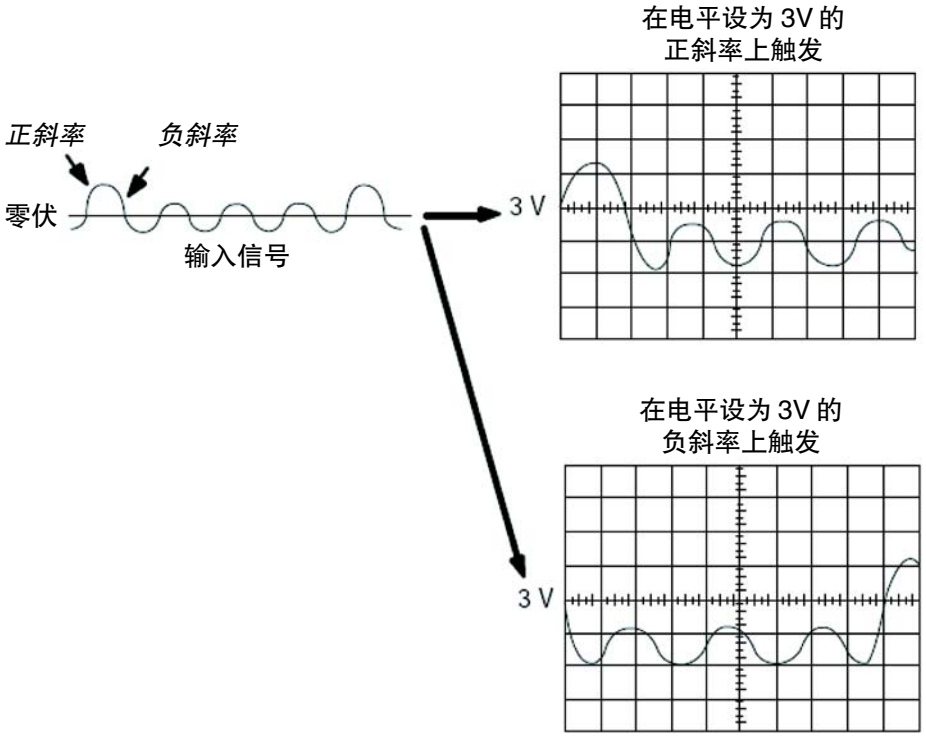


图 3. 触发电平和斜率。

独立触发电平设置

许多电子器件包括各种逻辑家族，这些逻辑家族具有不同的输入电压要求，进而要求为每个逻辑家族设置单独的触发门限电压。过去，示波器在所有源通道中共享触发电平设置。每次在选择不同的通道作为触发源时，用户都不得不改变门限。Pinpoint® 触发系统提供了一个选择：可以为每个输入源使用唯一的触发电平设置，也可以在所有通道中应用全局设置。

触发电平和斜率

触发电平和斜率控制功能提供了基本触发点定义，确定波形的显示方式，如图 3 所示。对边沿触发，可以选择斜率(正或负)和电平，示波器会在信号满足这些条件时触发采集，这称为越过门限。显示屏右侧的小箭头表示 Trigger Level(触发电平) (图 4a–4c)。箭头颜色与选择的触发源通道颜色对应。一般会把触发电平设置在峰峰值电压偏移的 50%，但这不是必须的要求。

触发位置

示波器前面板上的 Horizontal Position (水平位置)旋钮用来定位触发事件在屏幕上显示的位置。改变水平位置可以在触发事件前捕获信号行为，称为预触发查看。这样，它可以确定触发点之前和之后可以查看的信号长度。

数字示波器之所以能够提供预触发查看功能，是因为它们一直处理输入信号，而不管是否收到触发。一条稳定的数据流流到示波器存储器中; 触发只是告诉示波器发生触发时在内存中保存数据。预触发查看功能是一个重要的调试辅助工具。如果问题是间歇发生的，那么您可以在发生问题时触发系统，滚动记录，分析导致问题的事件。通常可以在触发前的这些信息中，可以找到导致问题的原因。

在图 4 中，触发位置设置成第四个主水平格线，相当于水平扫描的 40%。触发点可以位于记录中 0% – 100% 的任何位置上。在 100% 位置上，整个记录发生在触发点之前，可以最大限度地提高触发预览能力。在 0% 上，整个记录发生在触发之后，允许最大限度地提高触发后的查看能力。如果您需要获得触发事件后的一个完整记录，那么可以使用延迟触发。本文后面将讨论延迟触发。

触发上沿和下沿

多年来，触发系统一直提供正斜率和负斜率设置(图 4a 和 4b)。Pinpoint 触发系统也允许在正斜率和负斜率(图 4c)上触发，这通常用来查看高速时钟和数据信号上的抖动。图 4a、4b 和 4c 分别显示了触发斜率从上升沿变成下降沿、再变成两个边沿时的结果。

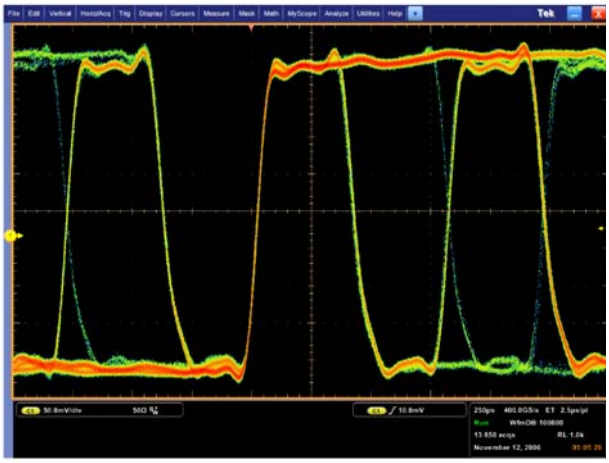


图 4a. 正触发斜率。

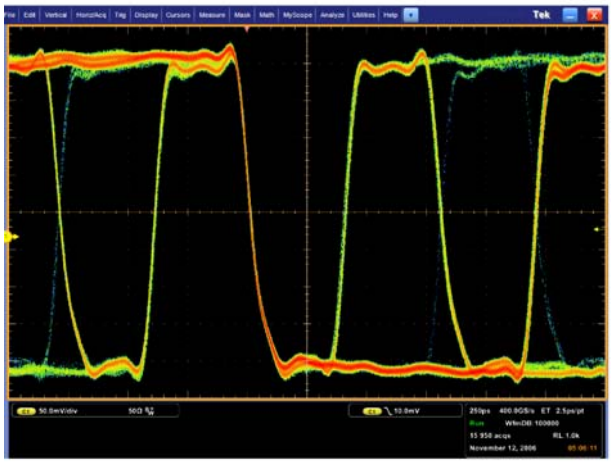


图 4b. 负触发斜率。

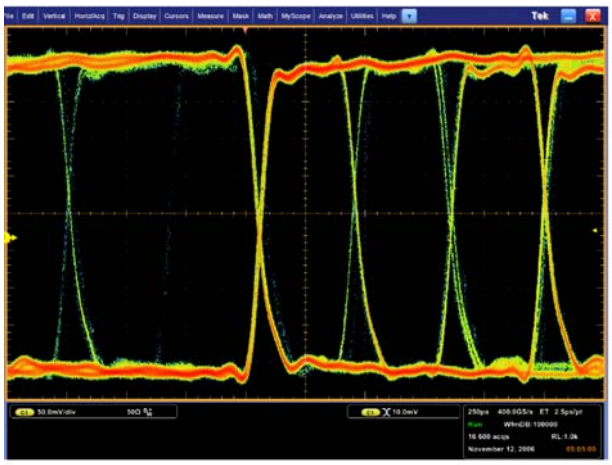


图 4c. 正负触发斜率。

图 4. 触发位置是 40%，用橙色‘位置’表示。触发电平是 880 mV，用黄色箭头表示。

高级触发类型和控制功能

由于波形、特别是并行总线和串行总线中的数字信号变得越来越复杂，古老的边沿触发有着太多的局限性，不足以作为唯一的采集手段。正如前面所作的比喻一样，边沿触发不能为示波器提供足够的信息，告诉司机“在哪儿停车”拍摄最美的照片。

高级触发对进入信号更严格指定的条件作出响应，如它可以简便地检测比本应宽度窄的脉冲。仅使用边沿触发是不可能检测到这种条件的。高级触发控制功能可以隔离特定的关心的事件。

Pinpoint 触发系统允许高度可选地控制试图捕获的事件。可以在按幅度定义的脉冲上触发(如欠幅脉冲或脉冲); 按时间限定的脉冲上触发(脉宽、毛刺、转换速率、建立时间和保持时间及超时); 使用窗口触发进行幅度和时间触发；或通过逻辑状态或码型进行描绘(逻辑触发)。

直观的用户界面可以迅速设置触发参数，在测试设置中实现广泛的灵活性，最大限度地提高工作效率。通过使用鼠标或示波器触摸屏选择触发设置菜单项，或按前面板 TRIGGER 部分的 ADVANCED 按钮，可以显示高级触发菜单。

许多示波器提供了 A–B 双触发。A(主)触发通常是一个全功能系统，它包括高级触发；辅助的 B 触发则限于边沿样式检测。A 触发作为限定符，在 A 触发发生时，B 触发可以查找规定的电压门限。

图 5a. 毛刺触发。

泰克采用 Pinpoint 触发技术的 DPO7000 和 MSO/DPO/DSA70000 系列示波器则不同于此。它们有两条互补的触发电路，允许在 A 事件和 B 事件上进行全面的高级触发限定，这称为 A 事件和 B 事件双触发。

Pinpoint 触发为下述触发类型提供了 A 事件和 B 事件双触发：边沿、毛刺、宽度、欠幅脉冲、超时、跳变时间、建立时间和保持时间、码型、状态及窗口。

毛刺触发

毛刺触发只能接受(或拒绝)脉宽低于规定极限的事件。可以选择负极、正极或任一极性。这种触发控制功能可以检查毛刺的成因(不管其多么少见)及其对其它信号的影响。Pinpoint 触发系统系统的用户界面允许搜索最低 <300 ps 的毛刺，检测宽达 150 ps 的毛刺，最低重新准备[1] 时间为 300 ps。在图 5a 中，毛刺触发用来追踪串扰问题。通道 1 触发在系统中导致逻辑不确定性的毛刺，通道 4 识别相邻数据线路导致毛刺的信号。

[1] 重新准备时间是指触发系统在检测到上一个事件后准备触发新事件所需的时间。

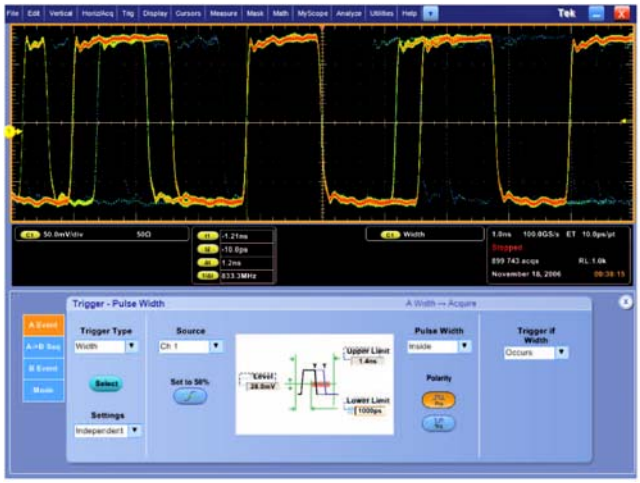


图 5b. 宽度触发

图 5c. 欠幅脉冲触发。

宽度触发

宽度触发允许只接受(或拒绝)位于两个规定时间极限之间的脉宽定义的触发，用来观察码间干扰(ISI)。当位状态在一长串有着相反状态的位后面变化时，会发生码间干扰，如在一串“0”后面发生“1”时。在 8B/10B 编码中，位时间可能会在 1 位到 5 位之间，而 PRBS 信号的宽度变化要更大。

在宽度触发中，可以选择正或负的脉冲极性。脉宽可以位于 150 ps – 1 s 之间，用户接口控制功能支持直到 300 ps 的分辨率和 300 ps 的重新准备时间。在图 5b 中，宽度触发用来仅触发快速串行码流中长4位的正脉冲。

欠幅脉冲触发

数字信号中的欠幅脉冲通常代表着亚稳定条件，可能会把数字系统置于未知状态。欠幅脉冲触发可以仅接受进入和退出两个规定幅度门限之间的脉冲所指定的触发。可以使用时间限定欠幅脉冲，最小脉宽 200 ps，重新准备时间 300 ps。可以选择正、负或任一短脉冲极性。在图 5c 中，欠幅脉冲触发电平设置成逻辑家族的最低门限值，示波器会捕获低于这一指标的脉冲。

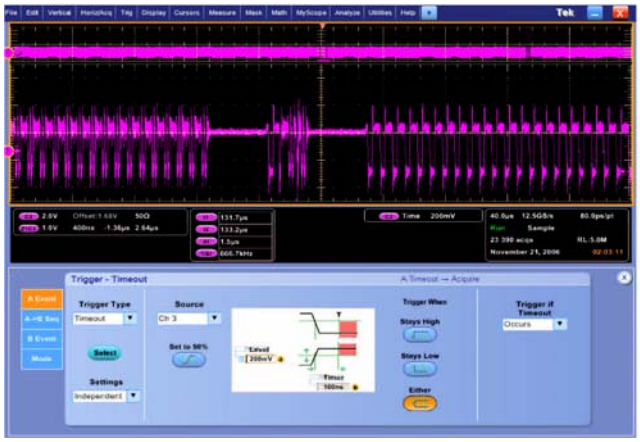


图 5d. 超时触发。

图 5e. 跳变时间触发。

超时触发

系统中有时会设计时钟或数据信令“死区时间”。但是，如果没有与其它系统时间建立正确的定时关系，那么死区时间可能会导致系统通信错误。通常来说，最好触发这些死区时间，发现其是否存在，然后考察其与其它信号的定时。通过使用超时触发，可以触发采集指定时间周期内保持高、低或任一状态的事件，这一时间周期可以使用时间控制功能，从 300 ps 到 1 s 进行调节。在图5d中，超时触发确定双向总线数据流中的死区时间。定时器设成 100 ns，保证要大于信号中的任何数据宽度。死区时间给为 340 ns。采集计数器在 10 秒内找到 45 个超时事件，表明这一事件在重复的码流中发生的时间仅占整个时间的.0000015%。

跳变时间触发

如果边沿(跳变时间)快于工作环境必需的水平，那么它可能会发出讨厌的能量。跳变时间太慢(如在时钟上)，可能会导致电路不稳定。跳变时间触发允许在从低到高门限和 / 或从高到低门限的时间间隔慢于(大于)或快于(小于)指定时间时触发系统，其中可以选择正、负或任一极性。在图 5e 中，跳变时间触发用来识别慢于 3.5 ns 的时钟边沿。

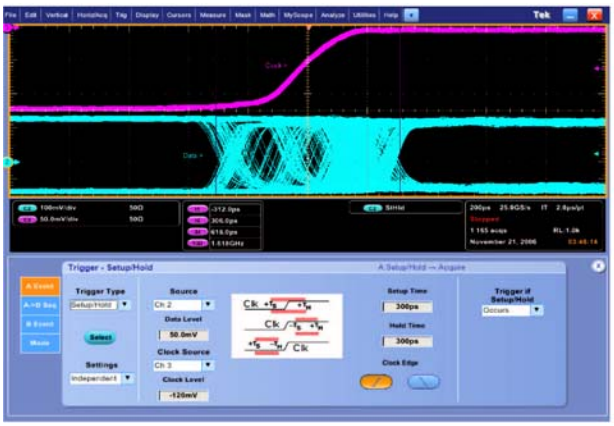


图 5f. 建立时间和保持时间触发。

图 5g. 窗口触发。

建立时间和保持时间触发

建立时间和保持时间违规可能会导致数据错误，进而可能导致整个系统发生波动。在同步数据信号未能满足建立时间和保持时间指标时，建立时间和保持时间触发可以简便地捕获特定的信号质量和定时细节。如果在正(或负)时钟边沿规定的建立时间和保持时间窗口内发生正或负数据边沿(跳变)，那么可以触发采集。只有建立时间和保持时间触发才允许确定性地捕获使用其它类型必须会漏掉的各个建立时间和保持时间违规。图5f表明了小于300 ps的建立时间和小于300 ps的保持时间违规捕获的 1165 项采集。

窗口触发

在许多高速设计中，多个内部元件总线在一块电路板上共享相同的总线。硬件或软件控制的缓冲阵列用来把正确数据复用到主总线上。复用器逻辑设计成在任一时间只允许一个单元使用总线。设计错误可能会导致总线争用，即在有两个逻辑电平的一条总线中会经历一种“中间”状态，在这种状态下，信号既不是‘1’也不是‘0’。窗口触发可以轻松捕获总线争用。通过窗口触发功能，示波器会触发进入(或退出)由两个用户可调节的门限定义的窗口的事件。此外，还可以使用窗口触发上的时间限定指标，构成一个矩形时间窗口，如果信号进入或退出这个窗口，那么会触发采集。最小窗口宽度是 150 ps，最小重新准备时间为 500 ps。图 5g 说明了捕获的总线争用事件。触发电平设置成相应逻辑家族的高和低门限电压。

图 6. 逻辑判定建立时间和保持时间触发。

图 7a. 逻辑码型触发。

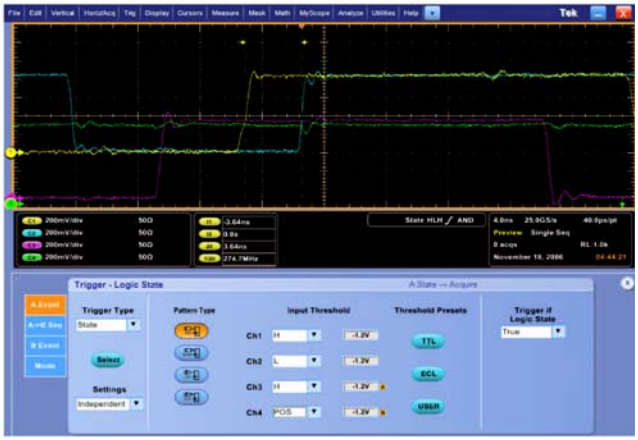


图 7b. 逻辑状态触发。

逻辑限定

通过Pinpoint触发系统，还可以选择对上面所有高级触发类型(毛刺、宽度、欠幅脉冲、超时、跳变时间、建立时间和保持时间、窗口)进行逻辑判断，为隔离事件提供了另一个强大的工具。图6说明了使用逻辑限定捕获建立时间和保持时间，其中通道1 (黄色)和通道2 (蓝色)分别是时钟和数据。通道3 (洋红色)和通道4 (绿色)的触发事件都限定为逻辑高。只有在满足逻辑条件时，才会在建立时间和保持时间违规时触发采集。在数字电路中，通常需要根据观察的信号的逻辑状态定义触发条件。4通道示波器可以使用最多四条输入的逻辑状态触发示波器。

Pinpoint 触发系统中有两种逻辑触发：

- 逻辑码型触发
- 逻辑状态触发

逻辑码型触发

逻辑触发(图7a)允许在提供的输入通道的任何逻辑组合上触发采集，特别适合检验数字逻辑操作。在输入通道满足逻辑码型(AND, OR, NAND, NOR)时，示波器会触发采集。传统的逻辑家族(TTL 和 ECL)提供了预先定义的门限电平，也可以使用 USER 为逻辑家族设置门限，如高速 CMOS。在 MSO70000 系列上，可以把宽达 20 位的逻辑码型定义为触发条件。这特别适合隔离复杂设计中的特定系统状态，如定时检验至关重要的存储器总线。

逻辑状态触发

与逻辑码型触发类似，在逻辑状态触发中，触发通过由通道 4(及 MSO70000 上的 Clk/Qual)上的边沿提供时钟的通道 1、2 和 3(及 MSO70000 上的通道 D0–D15)的任何逻辑码型定义，如图 7b 所示。可以在时钟上升沿或下降沿上触发系统。在包含触发和位移寄存器的电路中调试传播时延和亚稳定问题时，这类触发非常有用。逻辑状态触发可以用来调试存在离散时钟线路和多个数据信号的并行总线；串行触发 (后面将进行讨论) 则适用于触发串行总线中的嵌入式时钟数据。

主触发事件

■ A 事件

到目前为止，我们已经讨论了10种不同的触发类型，这些触发都用来告诉示波器捕获和显示波形的条件集。大多数现代高性能示波器允许定义两个触发；在泰克仪器中，其称为“A”事件和“B”事件，前者被视为主触发事件。对许多应用来说，只有一个关心的事件，A 事件触发已经足够了。

■ 延迟触发

如果关心的事件在 A 事件过了后大于一个完整的波形记录长度，那么必须使用延迟在屏幕上显示事件。A 事件延迟可以用时间(从 3.2 ns 到 3 Ms)或事件数量(从 1 个事件到 20 亿个事件)指定。

■ AB 顺序触发

在要求最高的应用中，一个触发事件不足以全面定义创建感兴趣事件的电路行为。回过来看一下我们的汽车之旅，想象一下在您停下来拍照时，您注意到更关心的细节，一只孤鹰落在树枝上。您使用相机特写功能(放大、快门速度等)，捕获这个更关心的事件。在高速逻辑电路中，通常希望根据事件顺序触发系统。可以定义第二个事件或 B 事件。

可以设置启动 B 触发电路，在指定时间(称为时间延迟)或事件数量(称为事件延迟)之后开始查找事件。一旦达到了时间或事件数量，B事件电路会等待捕获出现的下一个事件。在其它触发系统中，B事件触发仅限于边沿限定。即B事件的唯一条件是在满足A事件条件后超过门限。

如前所述，Pinpoint触发的双触发系统用途要广泛得多，为B事件提供了一套广泛的触发类型。A事件和B 事件触发菜单类似，可以为任一触发指定条件范围。

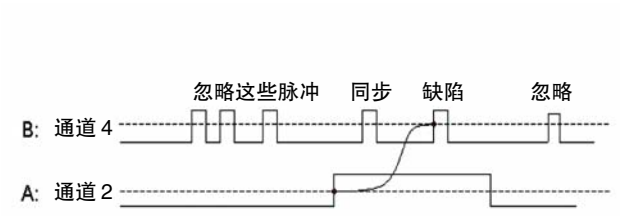


图 8. 磁盘驱动器读选通序列。

复位触发

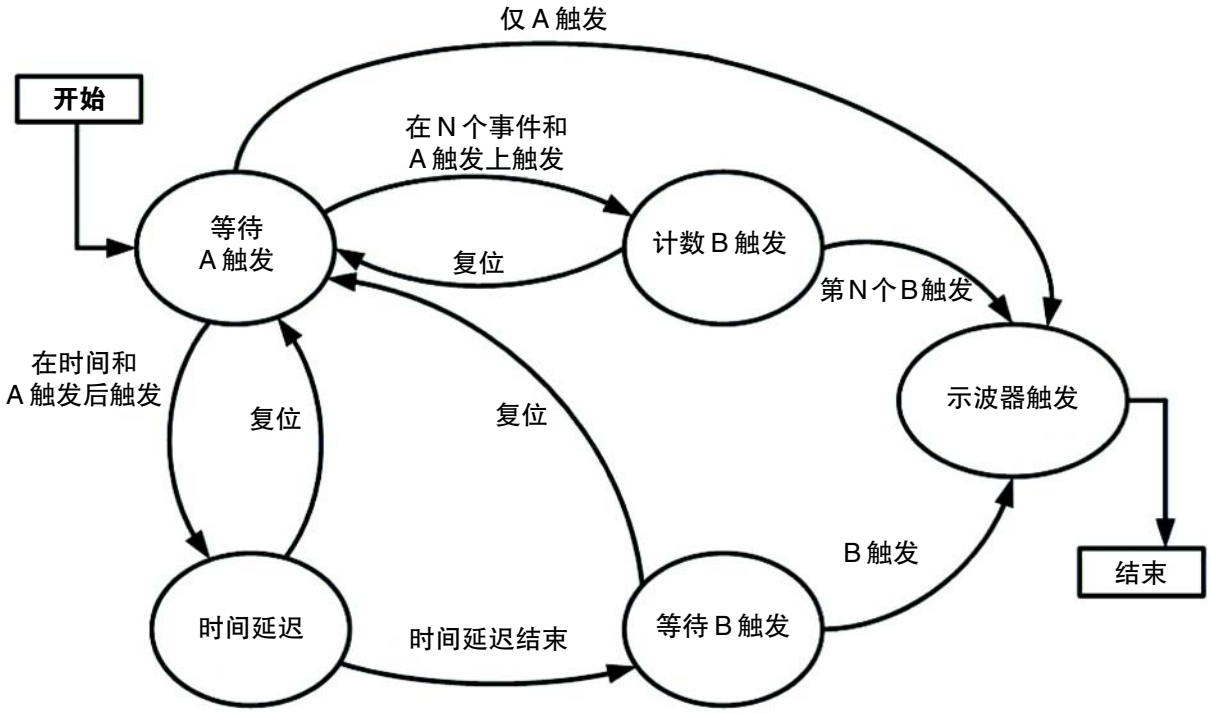
可以使用A –> B顺序在复杂系统中的一系列脉冲事件内“导航”。例如，帧头脉冲可以作为A事件，时钟脉冲则用于B事件。通过选择第n个B事件，可以在帧头后n个时钟周期中查看系统活动。时间延迟触发通常用来忽略系统活动，直到同步脉冲后过了指定的时间。

图8中的定时图显示了磁盘驱动器行业中的一个常见应用，但其不仅仅限于磁盘驱动器行业，而是也适用于希望触发系统忽略波形部分的其它数字调试应用。在本例中，在驱动器的读选通信号为高时，需要识别数据缺陷。在这种情况下，通道2连接到读选通信号上，通道4观察正在读取的数据。因此，我们需要触发系统在通道2为低时忽略数据信号，如果在数据中脉冲太多，则触发通道4。以前的触发系统不允许“停止查找”B事件，它们只是在随后的下一个B事件上触发，或无限期地等待下去，直到下一个事件出现。Pinpoint触发技术在AB顺序触发系统中增加了这种触发复位功能，在满足特定复位标准时命令仪器别再等待B事件。

图 9. 在发现驱动缺陷时触发系统。

复位触发在顺序设置中增加了三种新的选择：在规定时间后复位A触发(Reset By Timeout或超时复位)；在规定上升/下降跳变后复位A触发(Rest By Transition或跳变复位)；在满足逻辑状态时复位A触发(Reset By State或状态复位)。

图9使用Reset By State或状态复位，在数据信号上的同步脉冲后触发第三个脉冲(缺陷) (通道4– 绿色轨迹)。A事件是数据信号的选通信号上的边沿触发(通道2– 蓝色轨迹)。A B Sequence By Events(事件A B顺序)用来触发缺陷脉冲。在选通信号满足恢复到低状态的逻辑条件时，触发顺序被复位。触发顺序作为一个整体，保证只有在检测到缺陷时才触发示波器。



A 触发	延迟	复位	B 触发
边沿 毛刺 * 脉宽 * 超时 * 欠幅脉冲 * 跳变时间 * 窗口 * 建立时间 / 保持时间 * 码型 状态	按时间，或按 n 个 B 事件 延迟时间从 4 . 8 nS 到 3M 秒 延迟事件从1个事件到 2e9 个事件	按超时，按状态，按跳变时间，或无 复位可以位于通道 1…通道 4 或 AUX 通道上，具有唯一的门限电平和条件	边沿 毛刺 * 脉宽 * 超时 * 欠幅脉冲 * 转换 * 窗口 * 建立时间 / 保持时间 * 码型 状态

* 这些触发类型可以通过两个逻辑信号进一步进行判定

图 10. Pinpoint® 触发状态机。

顺序逻辑触发

如前所述，A事件和B事件双触发和复位触发配套功能允许示波器用户设置触发(或不触发)的事件顺序。表示顺序逻辑触发事件的状态机如图 10 所示。

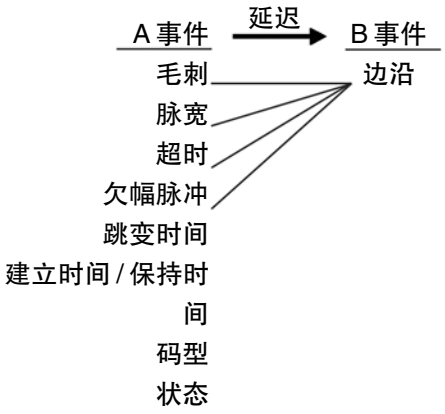


图 11a. 上一代触发技术 –17 种触发组合。

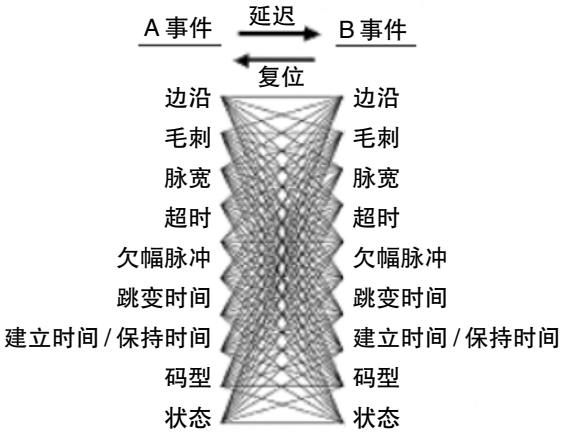


图 11b. Pinpoint 触发系统 –1445 种触发组合。

更多的触发选择

Pinpoint 触发结构确立了示波器效率和效果的全新基准。增加复位触发及A事件和B事件双触发把标配触发选择范围从最多 17 种组合(其中只有边沿是 B 事件触发)提高到 1400 多种组合，如图 11a 和图 11b 所示。通过这些选项，可以以高得多的精度定义怀疑的错误条件，加快找到根本原因的速度。

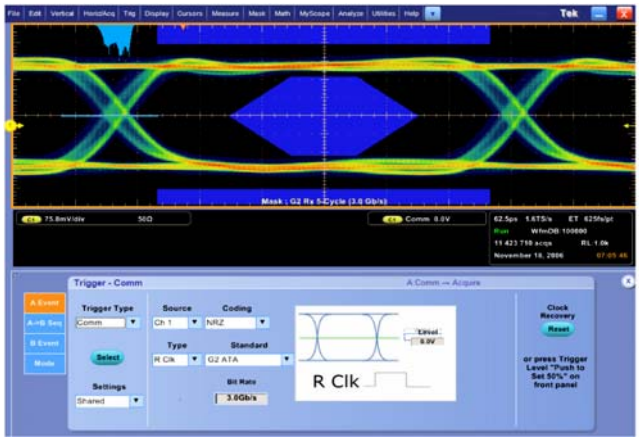


图 12. 通信触发。

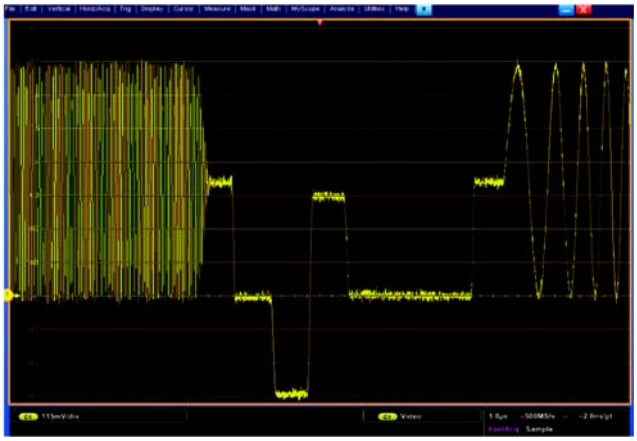


图 13. 视频触发。

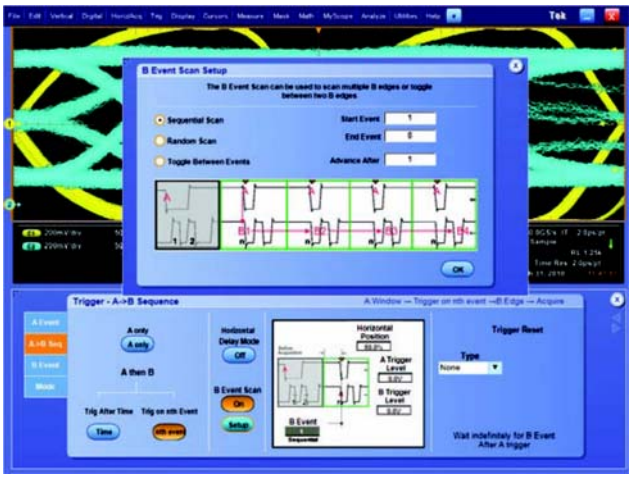


图 14. DDR3 的 B 事件扫描触发设置。

专用触发

Pinpoint触发系统的A–Event菜单中提供了更多的触发类型，旨在简化计算平台、通信、网络、视频等应用中使用的复杂信号格式的测试工作。

通信触发

Comm (通信)触发位于 Pinpoint 触发系统系统内的 A–Event 菜单中。模板测试需要波形触发方式能够支持与行业标准模板进行比较。可以选择的触发是速率高达 1.5 Gb/s 的 AMI、HDB3、BnZS、CMI、MLT3 和 NRZ 编码的通信信号以及速率高达6.25 Gb/s的8b/10b编码的串行数据。图 12 说明了串行 ATA 评估使用的 3 Gb/s 眼图画面。注意波形没有挨上深蓝色模板区域，否则即是违规。除模板外，直方图(位于边沿相交的点上方的浅蓝色图像)显示了信号中的合成抖动。

视频触发

视频触发是DPO7000系列仪器的标配功能。这一系列解决方案标配场内任一行、所有行、偶数场或偶数场视频触发功能，适用于NTSC、SECAM和PAL视频信号。可以用 IRE 或 mV 标度表示显示格线。在高清视频被迅速采用的环境下，内置 1080i、1080p、720p 和 480p 等标准的模拟 HDTV/EDTV 触发必然会带来很大的便利。图 13 是在 HDTV 触发集的帮助下采集的波形。

存储系统触发

检验 DDR3 信号要求能够可靠地触发关心的读或写突发，长期捕获数据(采集几个小时的波形)。通过使用 Pinpoint 触发系统中的 B 扫描触发功能，可以消除示波器触发抖动，得到的眼图会显示突发每个位在多次采集中的真正眼图睁开程度。如图 14 所示，这种触发功能可以执行高速存储系统要求的精确高效的定时检验，如 DDR3。

图 15. 低速串行协议触发。

图 15. 串行码型触发。

低速串行协议触发

泰克还提供了另一种串行触发形式—低速串行协议触发。串行协议触发工具提供了多种常用低速串行总线的专业知识：I²C、RS-232、SPI、CAN、USB 2.0和MIPI DPHY。提供的触发条件随不同标准变化，但在任何情况下，选项中都包括特定标准中最相关的顺序。例如，I²C触发集包括Start Condition、Missing ACK、Data、等等。CAN集包括Data、Remote、Overload帧类型；Identifier、Data、Missing Acknowledge、Bit Stuffing错误、等等。

图15是MSO70000示波器触发Address 01后的I²C屏幕截图。由于MSO70000的20 GHz模拟通道带宽，低速串行协议解码和总线触发允许监测常用串行总线，用户可以把精力放在高速设计挑战的处理上。还可以设置和定义总线触发，触发与选择的串行标准有关的数据包内容。

使用 Pinpoint® 触发验证高速串行总线设计

对高速信号传输，串行总线已经成为标准。PCI Express、XAUI、InfiniBand、串行ATA及许多其它标准采用差分技术传送数据和时钟信号。时钟嵌入到数据中，通常使用8B/10B编码，提供可靠的时钟提取方式。转向多路串行配置的发展趋势进一步提高了复杂度。四条、八条或更多的串行“通路”把信号成分从发射机传送到接收机，这一切都以更高的数据吞吐量(带宽)名义实现。Pinpoint触发可以用来在串行总线上执行验证和一致性测量，包括多路总线。

串行码型触发

串行码型触发是泰克DSA示波器的标配功能，为捕获速率高达5 Gb/s的串行总线上的数据提供了码型触发功能。码型触发中的数据既可以是串行数据(嵌入式时钟)，也可以是并行数据(单独的时钟)。串行码型触发可以触发长达64位的指定码型，对8b/10b编码串行数据可以长40位，为当前许多总线提供了异常强大的调试工具。图16显示了8b/10b编码的111111 PCI Express 5 Gb/s码流。

码型锁定触发

通过这种功能，泰克高性能示波器可以以杰出的时基精度同步采集长的串行测试码型。

在进行抖动和定时分析时，可以使用码型锁定触发，识别并从长串行码型中去掉随机抖动。由于支持高达6.25 Gb/s的数据速率，码型锁定触发可以帮助隔离特定位跳变，协助进行数据平均及模板测试。DSA70000(标配)和MSO/DPO70000(选项PTH)高性能示波器上提供了这一功能。

串行通路违规触发

只有在多条通路的时间落在规定容限范围内时，多路高速串行通信链路才能高效运行。通过触发一条数据流上的单个字符，观察通路中的偏移时间量，示波器有时用来测量通路之间的时间偏移。但是，这些基本测量不能确认多条通路在更长的时间内保持时间相关。

通过在任意两条通路之间时间偏移违规时触发示波器，串行通路偏移违规触发解决了这个问题。通过使用Pinpoint触发系统A和B双触发及复位功能，可以对通路偏移违规进行合格/不合格测试。在任何时间期间(分钟、小时、天或更长时间)通路之间的时间偏移违规时，可以触发示波器。可以在显示屏上捕获偏移时间违规的任何事件，并使用采集计数器计算数量。

来自通路0的第一个触发事件(A事件)是逗号，使用宽度触发捕获；通路1上的第二个触发事件(B事件)代表逗号，也使用宽度进行限定。规范要求通路上的同一事件必须在通路0上的事件后不超过24.8 ns时，才能在通路1上发生相同的事件。延迟用来设置开始查找B事件的最小时间，复位触发设为24.8 ns (规范容限)。图17说明了示波器在通路偏移违规时触发采集。

图 17. 串行通路违规触发

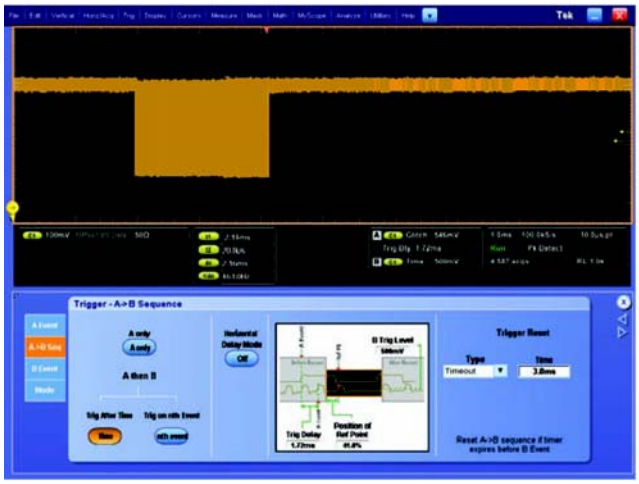


图 18. 信标宽度违规触发。

图 19. 8b/10b 串行总线触发和解码。

信标宽度违规触发

通过发出一个由专用包头和可变长度数据块组成的“信标”信号，基于标准的串行通信设备通常会表明其在通信通道中的存在状态。在设备加电遇到错误条件时，信标信号中会包含额外的信息，并持续更长的时间。过去，在可变长度的信标信号超出限定宽度时，是不可能触发示波器的。

通过Pinpoint触发及全功能A和B事件定义，这个问题得到解决。通过在K28.5字符中的宽度为五个1或五个0时触发示波器，A事件用来检测信标信号包头分组中的K28.5逗号。触发释抑设成大于信标信号宽度，这样只在信标信号开始时才发生A触发事件。

通过使用超时触发检测信号的空闲状态，B事件指明信标信号的末尾。信标宽度违规时间窗口起点由触发延迟时间终点定义，触发延迟时间是信标宽度指标。信标宽度违规时间窗口终点由复位超时来定义。通过这种触发设置，将只在违规时间窗口内发生信标信号终点时，示波器才会触发。图18说明了没有满足最低3.0 ms指标的信标信号。

8b/10b 协议触发和解码

可以使用总线解码和触发功能，从采集的波形、高速串行信号中自动解码8b/10b数据，如图19底部所示。另外，示波器显示屏上还提供了一个解码的符号列表，可以简便地验证数字数据及其模拟表示。8b/10b 触发和解码功能可以处理高达 30 Gb/sec 的任何 8b/10b 数据码型，因为70000系列示波器为更高的数据速率提供了正确的带宽设置。

70000系列示波器拥有这种总线触发和解码功能，可以设置成在 8b/10b 数据的任意四个符号(40 位)上触发采集，它可以触发特定包头或数据包，支持总线的十六进制和二进制格式。这是一种基于串行器 / 解串器(SerDes)的触发，也可以实时对奇偶性错误和字符错误作出反应。

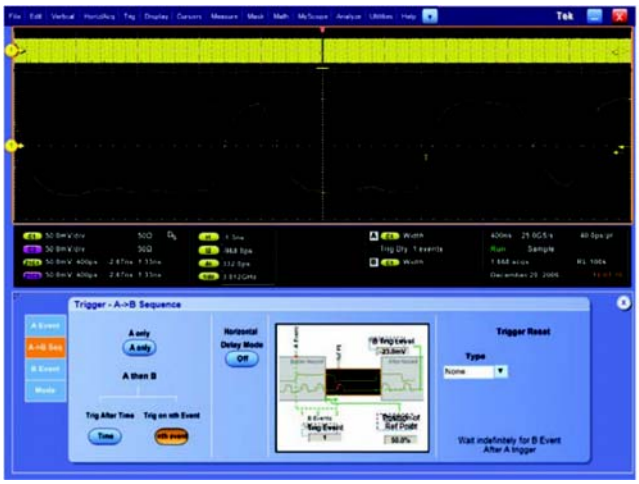


图 20. 独立位码型触发设置。

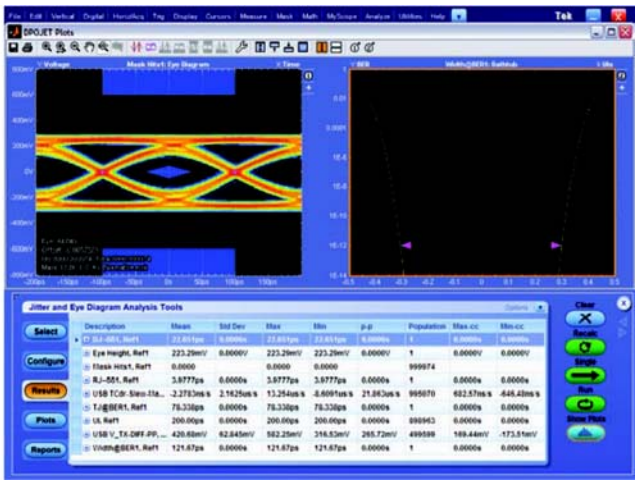


图 21. DPOJET™ 上的独立位码型。

触发限定抖动分析

大多数串行传输标准要求万亿分之一或更好的BER(误码率)。在工程速记中，这称为 10–12 位。可以使用DPOJET?抖动、定时和分析软件对定时、幅度和抖动行为进行串行测量验证。

这套工具是DSA70000系列的标配功能，这一功能位于Analysis 菜单中。DPO7000 和 MSO/DPO70000 系列可以选配这一功能。DPOJET 软件使用“频谱”方法，估算 10–12 BER 时的总抖动。

DPOJET软件可以在任意码型或重复码型上执行分析。行业小组开发出信号完整性测量使用的测试码型，以标准化测量方法，使用最坏情况场景测试被测设备极限。通常情况下，最好在波形的某个部分执行抖动测量。触发限定是实现这一程序的关键。

以串行ATA II设备的独立位码型(LBP)为例。LBP是定义的包含与周围位(如 00001000)不同的“独立位”00001000 的一个字集。假设位间隔是 333 ps，00001000独立位表达式相当于一个1.33ns时间周期的负脉冲后面跟着一个333ps的正脉冲，最后是一个999 ps 时间周期的负脉冲。为执行触发限定抖动分析，必需把独立位码型区分为数据流内部唯一的实体。

有没有可能使用运行速率为3 Gb/s的8b/10b触发，检测LBP，触发仪器? 不可能，因为 8b/10b 触发依赖逗号同步触发系统。在这种情况下，我们必须依赖触发系统逐个位的精度，来定位独立位。A–B顺序触发与A事件集结合使用，触发独立位前面的0000 序列；与 B 事件结合使用，触发独立位后面的 000 序列。图 21 显示了这一步的触发设置。

通过LBP上的稳定触发，现在可以在所需的多个连续触发上执行抖动和眼图分析。图22显示了LBP码型的RT–Eye 分析结果。

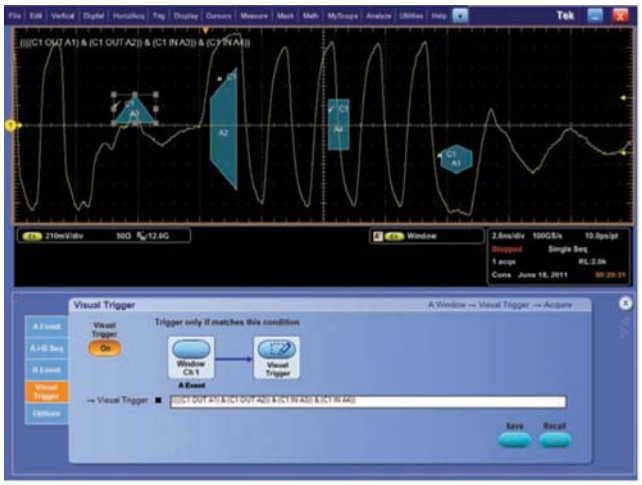


图 22. 70000 系列示波器上的可视触发。

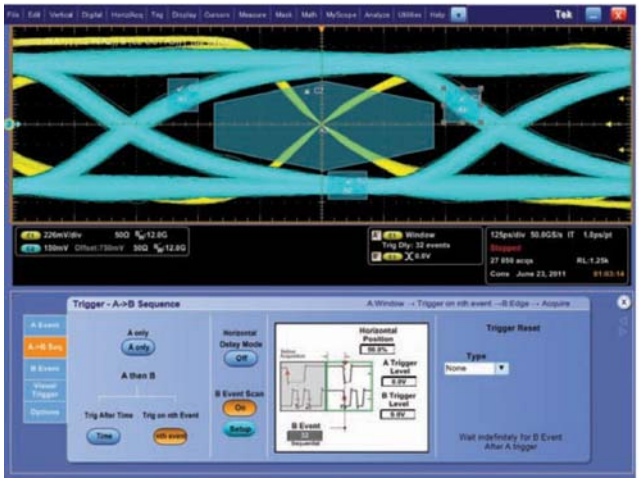


图 24. DDR3 数据限定符眼图上的可视触发。

可视触发

这种选配功能提供了一种直观的基于示波器格线形状的触发方法。通过这一功能，70000 系列示波器用户可以定义图 22 示波器显示屏上显示的形状，作为进入信号的触发事件。

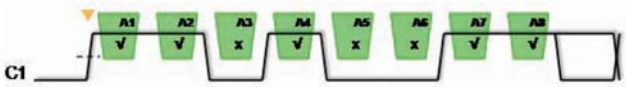


图 23. 采用可视触发的串行码型。

可以使用各种形状创建区域，包括三角形、矩形、六边形或梯形，把创建的区域对应希望的特定触发行为。一旦在示波器显示画面上创建了形状，当示波器处于运行模式时，它们可以动态定位和 / 或重新设定尺寸，创建理想的触发条件。

可视触发背后的精度只受示波器显示屏上当前时间 / 格和伏特 / 格设置的分辨率限制。例如，可视触发区域的最低宽度或高度可以是一个屏幕像素。如果想把像素转换成电压或时间，只需把仪器上的总时间或电压量程设置除以显示屏的像素数即可(水平 1000 像素，垂直 500 像素)。

可视触发可以与上面介绍的泰克Pinpoint触发系统结合使用，作为前面介绍的"A"事件的布尔逻辑限定符使用。

通过使用最多 8 种形状创建一串 1 和 0，仿真串行码型触发(参见图 23)，可视触发加快了高速串行信令的复杂调试工作。这变成了在可视触发中实现的串行码型触发，可以量身定制，支持示波器用户希望的任何可能数据速率或独特的编码方案。

对DDR调试，通过使用可视触发的动态整形功能，定位存储器控制器业务建立时间和保持时间余量下降的原因，可视触发有助于精确捕获突发的读 / 写业务(参见图 24)，检测存储器数据总线中的码型。灵活地设定尺寸及移动这些形状，加快了检验过程。

可视触发选项在 Pinpoint 触发和 7000 系列示波器触发系统中增加了额外的维度。

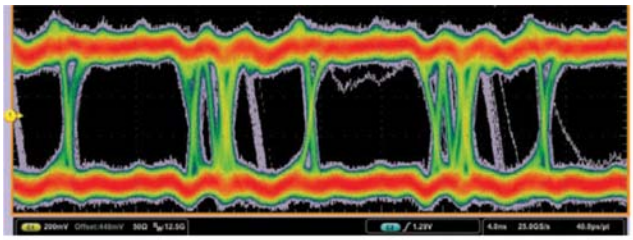


图 25. FastAcq 查看功能显示了潜在问题(灰色)。

图 27. Pinpoint 触发类型搜索方法。

高级搜索和标记

对迎接信号完整性和定时挑战的设计人员来说，高级搜索和标记是一种强大的工具，完善和增强了Pinpoint触发系统的功能。Pinpoint触发系统与高级搜索和标记结合使用时，提供了前所未的灵活性，提高了在信号中定位关心点的精度，进而提高了调试效率，可以在波形分析中获得更多的信息。

高级搜索和标记(ASM)使用的触发类型大部分与Pinpoint触发系统相同，来分析采集的波形，识别关心的事件。硬件触发一次监测一个事件类型，ASM 则同时扫描多个事件类型。例如，它可以在多条通道上扫描建立时间或保持时间违规，还可以同时扫描突发开始和结束，如 DDR 存储器数据波形上的读或写。配以高采样率，ASM 扫描在处理高信令速度时比基于硬件的触发方法提供了更精细的分辨率。此外，它可以在已经在采集的波形上应用了函数(如滤波或频谱分析)的数学波形上应用触发搜索。

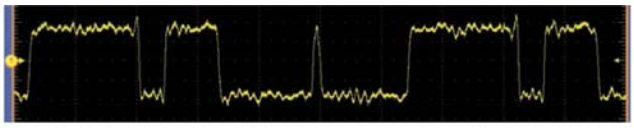


图 26. 使用 Pinpoint 触发类型检测的毛刺事件。

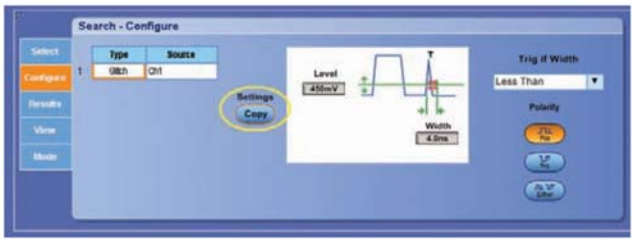


图 28. 选择并把毛刺搜索方法复制到高级搜索和标记中。

图 25 介绍了 ASM 功能及其在典型调试场景中的好处。屏幕画面使用FastAcq可视化的波形，揭示了信号中的潜在问题。灰色轨迹显示了偶发事件，波形中偶尔会看到放错位置的边沿。

在怀疑有毛刺或损坏的信号跳变时，可以使用Pinpoint触发系统，隔离比系统中预期宽度窄的脉冲。通过这种方式，我们检测到一个毛刺事件，如图 26 所示。

然后，可以使用 ASM，进一步了解发生的情况，为找到根本原因提供线索。如图 27 所示，可以使用与每种Pinpoint 触发类型对应的搜索方法，扫描采集的波形。搜索方法调色板适合隔离各种信号完整性缺陷和问题，包括建立时间和保持时间违规。在图 28 中，从 Search (搜索)菜单中选择 Glitch(毛刺)，用户可以继续为这一搜索配置参数。

Pinpoint 触发系统与 ASM 整合，以便一个系统中的触发设置可以迅速应用到另一个系统中。在本例中，我们使用Settings Copy(设置复制)功能，只需按一个按钮，就可以把设置直接从Pinpoint Glitch Trigger(毛刺触发)复制到 ASM Glitch Search(毛刺搜索)中，在实时触发系统和后处理搜索功能之间移动时，节约了时间，减少了错误。

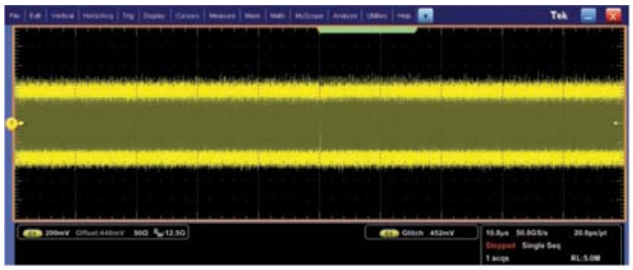


图 29. 5M 样点波形的搜索结果。

在使用Glitch (毛刺)触发定义了Search (搜索)后，显示画面会更新，表明波形中匹配的位置。图26显示了5 M样点波形的结果。我们搜索宽度小于 4 ns 的正脉冲。

波形上方显示画面顶部的浅绿色符号框(图29)实际上是ASM 放置的各个标记的集合，表明满足搜索标准的事件。尽管波形看上去是均匀的，但 ASM 发现许多事件符合 Glitch (毛刺)条件，这些事件从屏幕中心开始，因为这是显示画面上的触发位置，是Pinpoint触发使用同一标准检测到第一个毛刺的第一个点。

在图 30 中，我们使用显示缩放更详细地检查其中一个标记。屏幕右面的 Previous 和 Next 导航控制功能用来选择要查看的标记。显示画面上方显示5 M样点的整个采集记录，在本例中涵盖了 100 μs 的时间周期。

示波器画面(图30)下面的视图显示了以Zoom显示区域为中心的 Mark 2 上的波形。它只跨越了 1 μs 的时长，更详细地显示Mark 2周围的区域。可以提高放大倍数，以获得更详细的信息；或降低放大倍数，包括更多的概况信息。在本例中，可以大体比较标记 1 到标记 4。注意这些事件有着明显的周期性特点，这为揭示其成因提供了潜在的线索。

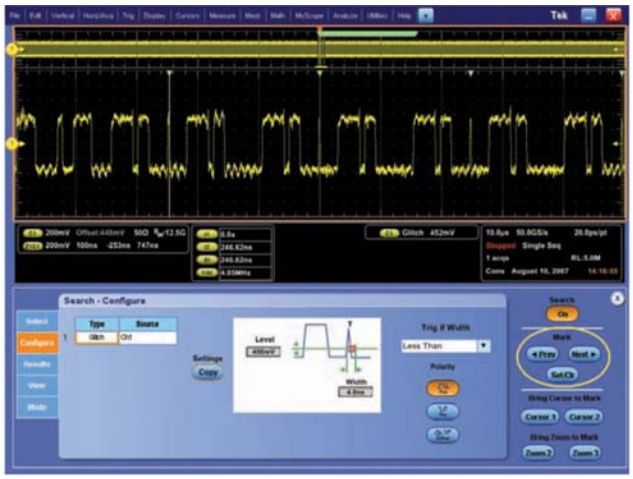


图 30. 显示画面缩放。

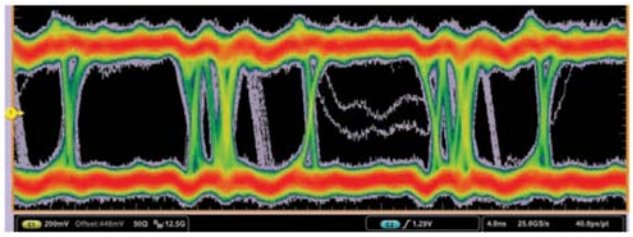


图 31. 高级搜索和村记的多种搜索方法。

传统硬件触发系统一次把重点放在一套信号特点上，不包括其它条件，因此隔离大量的问题通常要求顺序通过不同的触发类型。泰克搜索和标记完善了 Pinpoint 触发系统，其能够同时执行多个搜索，因此能够高效地检测多个信号上的多个条件。

图31说明可以怎样把ASM内部的多个搜索方法应用到一个信号上，同时搜索问题。ASM允许同时应用最多八个搜索，因此可以在一个或多个波形上检测大量的事件。FastAcq 揭示了信号问题，包括放错地方的边沿及在门限之间逗留时间太长或从未结束的偶尔跳变。

图 32. 选择了毛刺和窗口搜索。

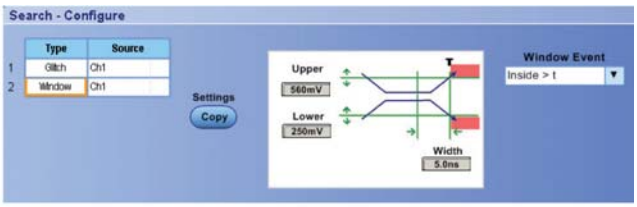


图 33. 窗口搜索。

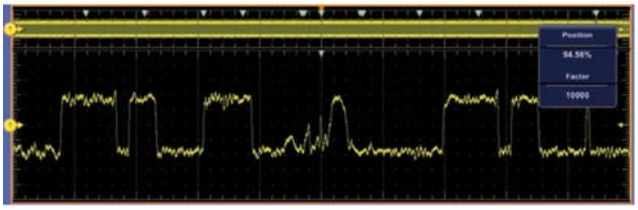


图 34. 毛刺搜索和窗口搜索结果。

图 35. 结果表。

在图32中，我们从Search调色板中选择毛刺搜索和窗口搜索，其出现在右面的表中。可以定义及对通道1或其它通道定义和应用最多六个额外的搜索。用户可以扫描多条通道，查找多个问题条件，而不必重新配置。每种搜索都有独特的设置，如可以为Ch1定义额外的毛刺搜索，但使用不同的门限或宽度值。

使用控制功能定义窗口搜索的方式与毛刺搜索类似。在图33中，窗口触发配置成捕捉进入上下门限规定区域、且在该区域中保留 5 ns 以上的信号。其它形式的窗口搜索可以检测传送到指定区域外面的信号，如高于或低于信号正常范围的过度过冲。

图 34 显示了应用这两种搜索的结果。注意屏幕顶部的绿色标记表明已经满足任何搜索标准。在本例中，用户已经导航到最后的标记，在缩放图中进行查看。图 35 是这两种搜索的结果表。注意找到的窗口和毛刺事件组合，以及时间位置和描述信息。

除能够与Pinpoint触发系统交换设备，通过在长记录采集中找到重复的复杂事件来提高工作效率外，高级搜索和标记还提供了多得多的功能，为用户提供有益的结果。

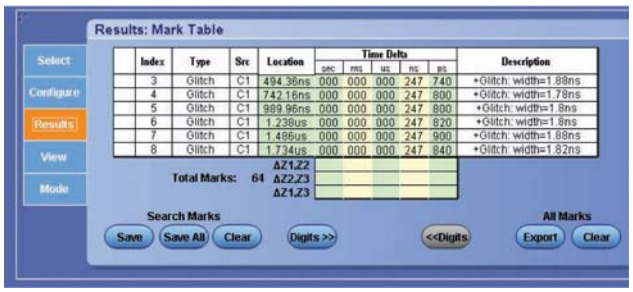


图 36. 结果表。

如图 36 所示，ASM 的结果表为汇总触发事件、导航长记录中的每个事件及在大的间隔中计算精密定时测量提供了高效的工具。

ASM 能够在找到事件时停止波形采集，它可以作为伪触发模式工作，其中使用一种或多种搜索方法采集和扫描波形。如果找到至少一个匹配项目，采集会停止，并放上一个标记，表明每个匹配项目。如果没有找到匹配项目，那么将采集另一条记录(假设为 Run Continuous 采集模式)，然后重复上述过程。

因此，可以使用ASM，搜索实时波形或数学波形，作为伪触发器使用。这种工作模式没有硬件触发的警惕性，因为在执行基于软件的后处理查找事件时，它用的时间要比基于硬件触发采集的时间长，但是在事件频繁发生时，ASM 搜索方法提供了额外的灵活性和精度。

总结

泰克最早的突破性触发技术把示波器确立为观察电子活动不可或缺的量化工具。当前的示波器应用包括捕获时间周期仅几皮秒的随机事件，以及长期监测和分析。所有这些应用都离不开强大的多功能触发技术。

现代计算、串行数据传输和通信系统中使用的复杂信令要求触发功能不断发展。为满足这种需求，泰克新的Pinpoint 触发系统适应了最快速、最复杂的信号要求，它拥有许多创新的触发功能，如A事件和B事件双触发、窗口触发、逻辑限定和复位触发。

高级搜索和标记完善了 PinPoint 触发系统以及 DPO7000 和 MSO/DPO/DSA70000 系列的其它核心功能。在与 Pinpoint 触发、采样率、深采集存储器和 FastAcq 可视化技术一起使用时，泰克示波器在当前市场上的高性能示波器中，为分析信号完整性及调试系统提供了最强大、最高效的解决方案。

触发特点 / 指标	DPO7000 系列	MSO/DPO/DSA70000 系列
触发灵敏度	<1.2 格 @ 2.5 GHz	1.5 格 @ 6 GHz, 2 格 @ 8 GHz, 5 格 @ 11 GHz
触发抖动	1.5 ps RMS(典型值)	1 ps RMS (典型值)
最小触发脉宽	170ps	150ps
A 事件触发类型	边沿 毛刺 * 欠幅脉冲 * 宽度 * 跳变时间 * 超时 * 码型 状态 建立时间 / 保持时间 * 窗口 * (* 包括可以选择的逻辑限定)	边沿 毛刺 * 欠幅脉冲 * 宽度 * 跳变时间 * 超时 * 码型 状态 建立时间 / 保持时间 * 窗口 * (* 在 MSO70000 上包括可以选择宽达 20 位的逻辑限定)
B 事件触发类型	与 A 事件触发集合相同	与 A 事件触发集合相同
触发顺序	主触发 Delayed by Time (时间延迟触发) Delayed by Events (事件延迟触发) Reset By Time, State, Transition (时间、状态、跳变复位)	主触发 Delayed by Time (时间延迟触发) Delayed by Events (事件延迟触发) Reset By Time, State, Transition (时间、状态、跳变复位)
通信标准触发	支持高达 2.5 Gb/s 的 AMI, HDB3, BnZS, CMI, MLT3 和 NRZ 编码通信信号	支持 AMI, HDB3, BnZS, CMI, MLT3 和 NRZ 编码通信信号
视频触发	对 NTSC, SECAM 和 PAL: 场内任意行, 所有行, 所有场, 奇数场或偶数场 对模拟 HDTV/EDTV: 1080i, 1080p, 720p, 480p	无 无
串行码型触发	64 位串行字识别器触发高达 1.25 Gbaud 的 NRZ 编码数据	64 位串行字识别器触发高达 1.25 Gbaud 的 NRZ 编码数据 + 40 位字识别器触发高达 5 Gb/s 的 8b/10b 编码数据，串行码型 锁定触发支持高达 6.25 Gb/s 的数据速率
低速串行协议触发	I^2C, SPI, CAN, RS–232, USB 2.0, MIPI DPHY	I^2C, SPI, CAN, RS–232, USB 2.0, MIPI DPHY
8b/10b 串行协议触发	串行 ATA 串行相连 SCSI (SAS) 光纤通道 千兆位以太网 快速 IO	采用 8b/10b 串行总线解码的高达 30 Gb/sec 的任意 8b/10b 解码码型 PCI Express 串行 ATA 串行相连 SCSI (SAS) 光纤通道 InfiniBand 千兆位以太网 XAUI 快速 IO
可视触发	无	最多 8 个可定制的形状
搜索和标记事件基本功能	任意事件和文件波形。在任意通道上搜索正斜率、负斜率或两者。事件表汇总找到的所有事件。所有事件都打上相对于触发位置的时戳。用户可以选择在找到事件时停止采集。	
搜索和标记事件高级功能	搜索毛刺或欠幅脉冲以及跳变速率、脉宽、建立时间和保持时间、超时、窗口违规，或查找任意数量的通道上任何逻辑或状态码型。使用选项 DDRA 搜索 DDR 读突发或写突发。	

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
上海市徐汇区宜山路900号
科技大楼C楼7楼
邮编：200233
电话：(86 21) 3397 0800
传真：(86 21) 6289 7267

泰克深圳办事处
深圳市福田区南园路68号
上步大厦21层G/H/I/J室
邮编：518031
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
西安市二环南路西段88号
老三届世纪星大厦20层K座
邮编：710065
电话：(86 29) 8723 1794
传真：(86 29) 8721 8549

泰克武汉办事处
武汉市解放大道686号
世贸广场1806室
邮编：430022
电话：(86 27) 8781 2760/2831

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

有关信息

泰克公司备有内容丰富的各种应用文章、技术简介和其他资料，并不断予以充实，可为从事前沿技术研究的工程师提供帮助。请访问泰克公司网站 **www.tektronix.com.cn**

版权 ©2011, 泰克公司。泰克公司保留所有权利。泰克公司的产品受美国和国外专利权保护，包括已发布和尚未发布的产品。以往出版的相关资料信息由本出版物的信息代替。泰克公司保留更改产品规格和定价的权利。TEKTRONIX 和TEK 是泰克有限公司的注册商标。所有其他相关商标名称是各自公司的服务商标或注册商标。

07/11 EA/FCA–POD 55C–17291–6