

选择下一代示波器

数字触发的重要性

白皮书 | 01.00版

ROHDE & SCHWARZ

Make ideas real



目录

- 1 概述3
- 2 数字触发的历史4
- 3 数字架构与模拟架构.....4
- 4 数字触发的优势5
 - 4.1 更高的触发灵敏度5
 - 4.2 用户迟滞控制6
 - 4.3 更灵活的滤波器设置.....7
 - 4.4 为触发应用HD模式.....7
 - 4.5 插值8
 - 4.6 更小的触发抖动.....9
- 5 如何辨别数字触发与模拟触发10
- 6 结语10

罗德与施瓦茨产品

- ▶ R&S®MXO 4系列示波器
- ▶ R&S®MXO 5系列示波器
- ▶ R&S®RTO6系列示波器
- ▶ R&S®RTP系列示波器

1 概述

使用示波器在捕获感兴趣的事件时，其捕获时刻的准确度取决于示波器的触发能力。触发是选购示波器的重要参数，但在选购仪器之后通常会被忽略。具备卓越触发参数和功能的示波器能够为开发团队提供显著优势，有助于快速有效地进行调试和测试。优越的触发系统能够为工程师节省大量时间，协助他们快速隔离难以检测到的事件并改进设计。

工程师能够快速识别并对比示波器的主要规格，例如带宽、记录长度和采样率。但是，评估并对比示波器触发系统的性能和质量可能稍显困难。传统的示波器触发基于模拟电路，信号被拆分到数据路径和单独的触发路径。新型示波器架构为信号和触发提供一个通用路径。这种单一路径方法被称为数字触发。与传统的模拟触发架构相比，数字触发具有多种优势。

本白皮书包含以下内容：

- ▶ 模拟和数字触发架构
- ▶ 数字触发示波器的优势
- ▶ 如何辨别数字或模拟触发示波器



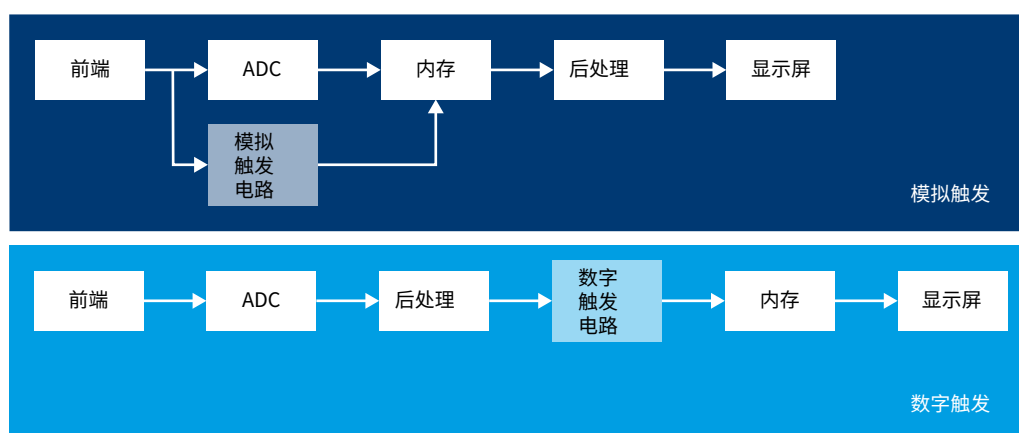
2 数字触发的历史

罗德与施瓦茨持有关于示波器数字触发方法的首个专利，并在开发R&S®RTO1000示波器的时候首次应用了这些方法。罗德与施瓦茨的新示波器系列均标配数字触发，包括R&S®MXO系列、R&S®RTO6和R&S®RTP示波器。

3 数字架构与模拟架构

目前使用的示波器中，大部分都采用模拟触发。基于模拟触发架构的示波器将输入信号拆分到数据路径和单独的触发路径。触发电路和数据路径分离。用户无法在示波器显示屏上查看触发信号。模拟触发电路评估的是从原始信号中“掐下来”的信号。示波器可能配备简单的触发路径滤波器，例如用于减少触发路径噪声的射频抑制。不同于触发路径中的滤波器，信号路径中的后处理滤波器更加多样且功能更强大。模拟触发电路可以在ASIC、FPGA或现成组件中实现。

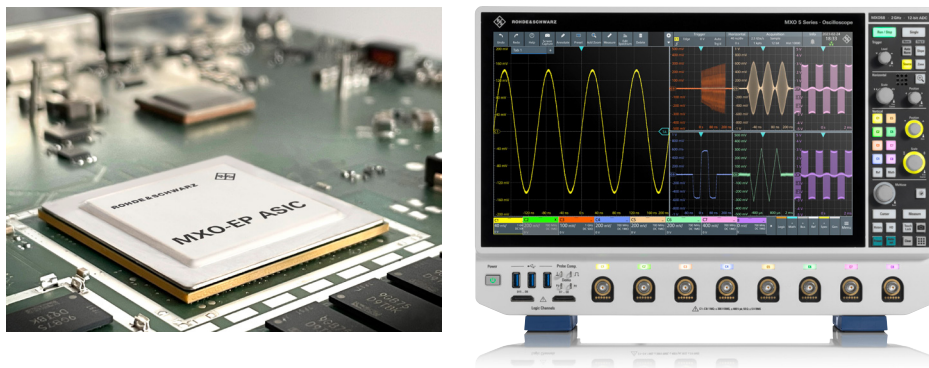
图1:模拟触发电路和数字触发电路对比



采用专利的数字触发架构的示波器为信号和触发提供一个通用路径。触发事件在示波器的模数转换器(ADC)后面进行评估。触发信号和数据路径信号相同，因此用户可以在示波器显示屏上查看触发信号。在示波器评估触发条件之前，可以实时应用各种采集后滤波器，例如插值、带宽滤波和去嵌。

图2: R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列示波器的MXO-EP (Extreme Performance) ASIC包含一个专用的数字触发模块

26 nm CMOS ASIC包含3600万个逻辑门, 处理速率高达200 Gbit/s。



4 数字触发的优势

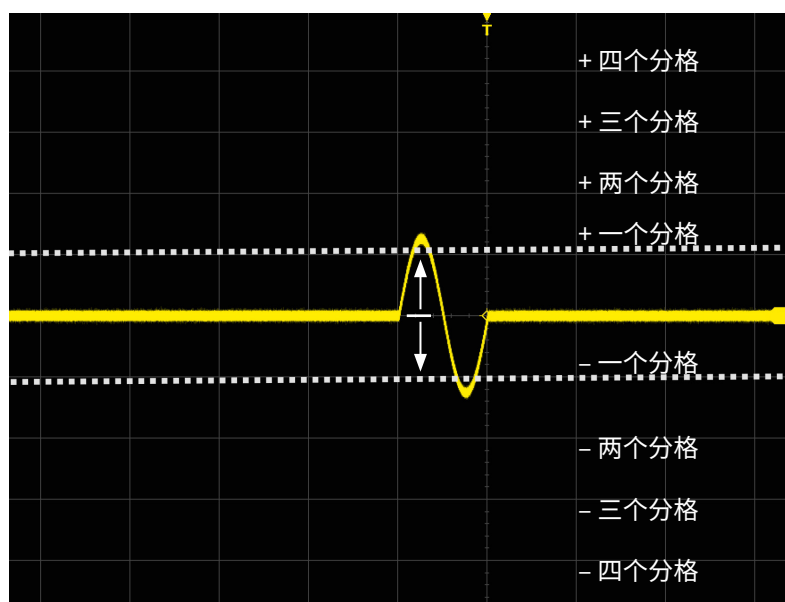
4.1 更高的触发灵敏度

示波器触发灵敏度是指仪器正确识别触发事件所需的最小信号幅度。示波器显示屏上的网格标记将显示屏垂直划分为8个或10个垂直分格, 具体的分格数量取决于示波器制造商。示波器规格将规定触发电路的信号幅度必须占据的垂直分格数量, 保证能够正确识别触发事件。

例如, 对于触发灵敏度为一个垂直分格的示波器, 如果将示波器设为100 mV/div, 边沿等触发信号的幅度必须至少为100 mV, 以确保示波器将正确进行触发。对于具有八个垂直分格的示波器, 一个分格表示整个屏幕垂直刻度的12.5%, 相当于125 mV幅度。部分示波器没有规定单一的触发灵敏度规格, 而是因垂直刻度(V/div)、带宽和触发类型而异。

图3: 触发灵敏度定义

触发灵敏度定义为示波器将信号正确检测为触发事件所需的信号幅度 (以垂直分格表示)。

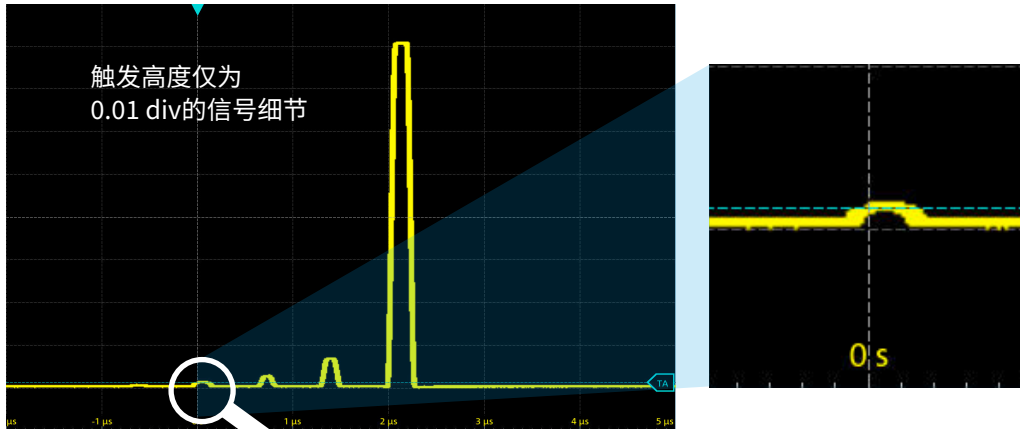


与模拟触发相比，数字触发能够触发幅度更小的信号。这一优势为何重要？卓越的触发灵敏度支持用户通过触发来隔离叠加在大信号上的小信号。

现在来看一个例子。R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列示波器的触发灵敏度为0.0001 div。如果示波器设为10 mV/div，完整的垂直高度为100 mV。示波器能够触发100 mV的1/10000，即触发幅度为10 μ V的信号。对于低幅度信号，测量噪声会掩盖波形。罗德与施瓦茨示波器的HD模式能够权衡带宽和噪声，并为触发系统提供HD信号，从而针对这些微小的幅度变化进行触发。

图4:全球首屈一指的灵敏触发

R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列等示波器的数字触发灵敏度高达0.0001 div。这些示波器能够在显示屏上同步分隔大幅度信号和小幅度事件。

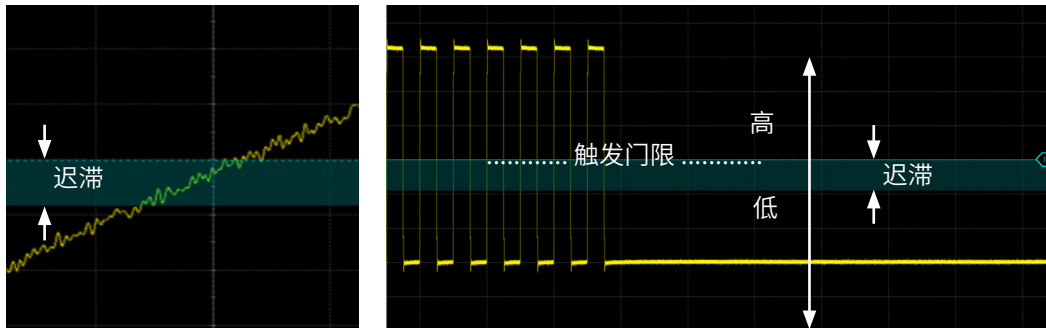


4.2 用户迟滞控制

用户可以规定触发门限，并通过旋钮或在对话框中输入触发电平来调整该阈值。信号越过触发门限时必须比该门限电平高出一定的幅度，以便示波器能够将这种电平变化识别为触发事件。触发迟滞是指超出指定触发电平的附加幅度。

图5:触发迟滞实现更灵活的触发

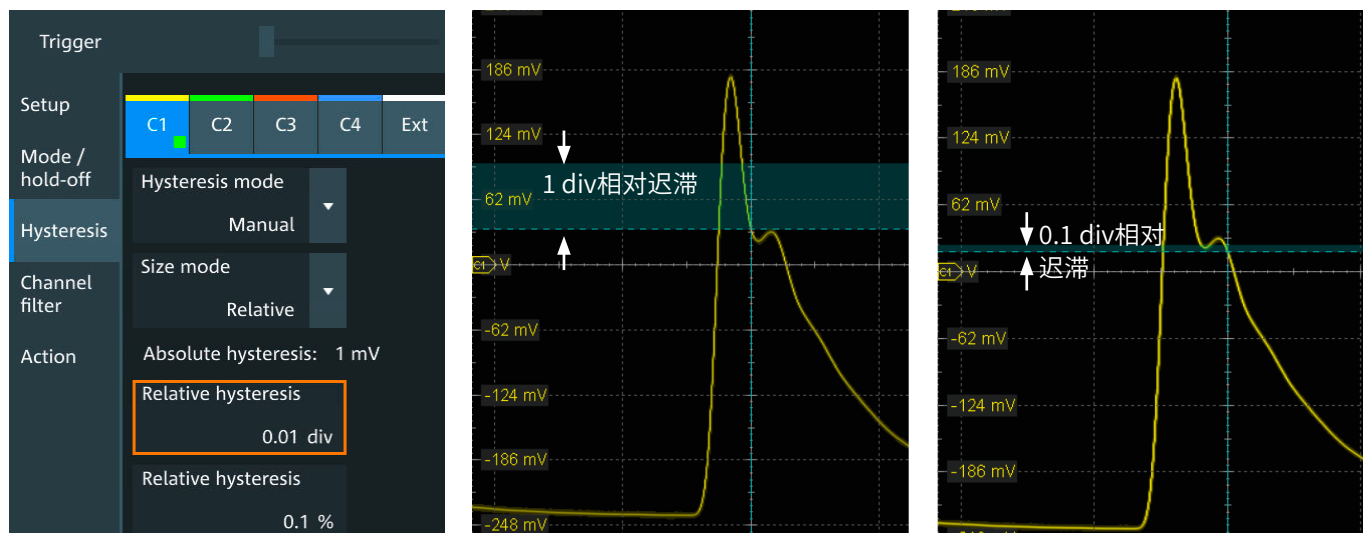
所有示波器触发源都提供门限设置，能够设置低电平和高电平门限。对于边沿触发等触发类型，迟滞的大小决定了信号被识别为触发事件所需的最小幅度。迟滞有助于保证示波器不会对测量噪声或信号噪声进行触发。



对于模拟触发示波器，制造商在仪器内部设置迟滞，用户一般无法进行调整。这些仪器也可能提供一些预设值（例如射频抑制）。新型数字触发示波器可以通过与模拟示波器相同的设置来自动设置迟滞幅度。而且，用户还可以将数字触发迟滞值调整为自定义的相对值和/或绝对值。用户可以将迟滞调整为高值以避免因噪声而错误触发，或者设置为低值以针对微小的信号幅度变化进行触发。

图6:数字触发支持用户控制触发迟滞

这种灵活性便于用户触发波形的不同部分,模拟触发无法轻松做到这一点。

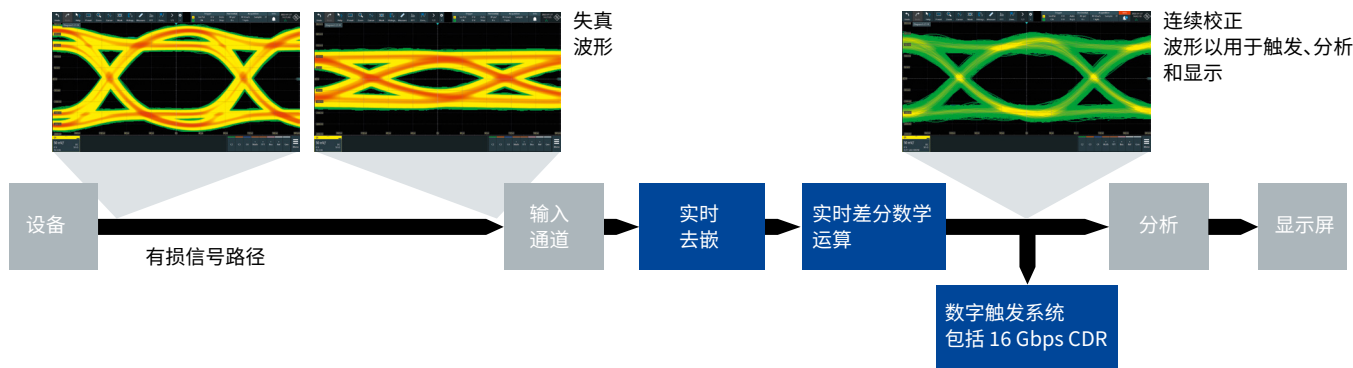


4.3 更灵活的滤波器设置

市面上的所有示波器通常都提供各种滤波器以便查看信号。带宽限制滤波器就是其中的一种。这种滤波器可以使用DSP算法(通常在FPGA中)在模拟硬件中实现,也可以通过软件提供。在模拟触发示波器中,触发电路无法应用信号路径滤波器。在数字触发示波器中,滤波器可以应用到数字触发和/或信号路径以供查看和分析信号。这种机制的优点在于,示波器屏幕显示的波形就是触发系统评估的事件。

图7:模拟触发示波器仅对显示的信号应用去嵌,不应用到触发。

R&S®RTP示波器在触发之前应用实时去嵌,从而使得触发的信号和屏幕上显示的去嵌后的信号是相同的。



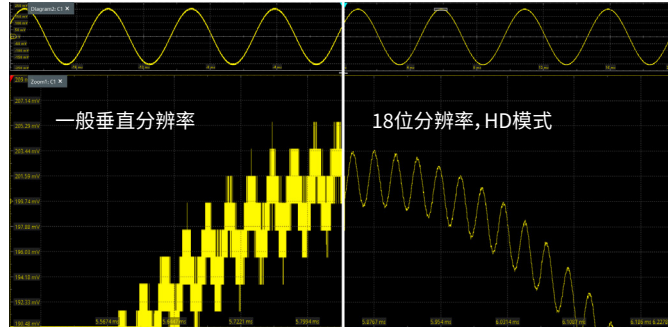
4.4 为触发应用HD模式

对于低幅度信号,示波器噪声会掩盖信号,也无法触发该信号。如果小信号的幅度被示波器固有的系统测量噪声掩盖,示波器无法触发此类信号。大部分示波器的采集模式都能够权衡带宽和垂直分辨率。这种采集模式被称为高分辨率模式、eRes模式或HD模式。在高分辨率模式下,移动平均滤波器对相邻样本取平均值,降低了有效采样率,但提高了垂直分辨率。在模拟触发示波器中,高分辨率模式仅适用于信号路径,不适用于触发路径。

对于R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列等数字触发示波器,高清晰度(HD)模式应用DSP滤波器来权衡带宽和垂直分辨率。HD模式提供高达18位的触发分辨率,还可以通过减小带宽来抑制噪声。这种方法显著降低了系统测量噪声,进一步提高了触发灵敏度。R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列示波器可应用最低1 kHz带宽的HD模式,同时触发分辨率提高到18位。

图8:HD模式结合罗德与施瓦茨的数字触发

和模拟触发示波器不同的是,罗德与施瓦茨的数字触发架构能够对显示的信号和触发实时应用HD模式。



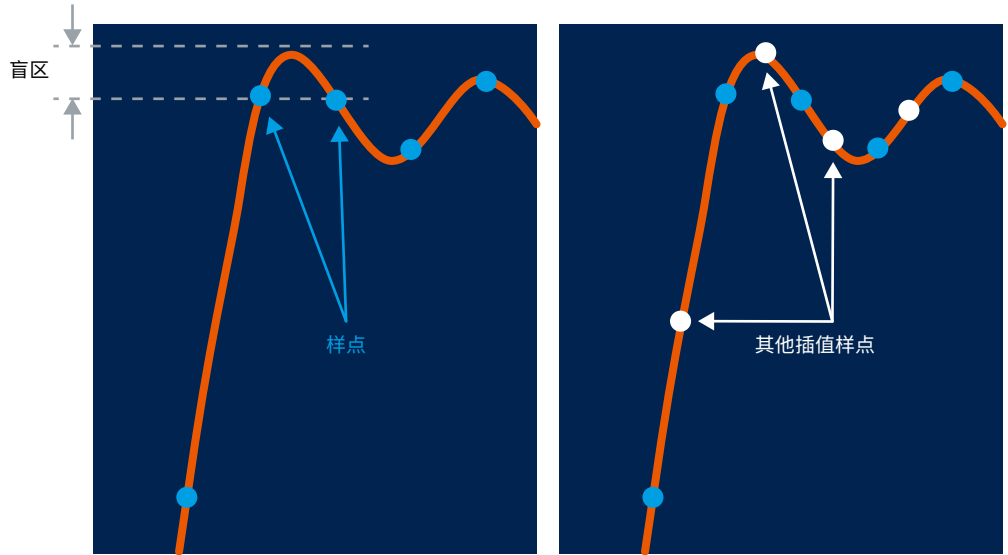
4.5 插值

采用模拟触发电路的示波器架构将用户信号拆分出触发路径。触发路径为模拟路径。因此,这些模拟电路的门限范围通常采用较大步进。例如,门限设置可能将步进限定为100 mV。

对于数字触发,用户可以选择示波器屏幕显示范围内的垂直电压的任意门限值。这是因为数字触发架构在ADC后面评估信号。利用这些数字信息,示波器甚至还可以根据采样点之间的插值进行触发判定。

图9:数字触发利用插值提供更加准确的触发电平值

数字触发可以利用采样点之间的插值来消除触发盲区。这可以将触发灵敏度进一步提高到0.0001 div。

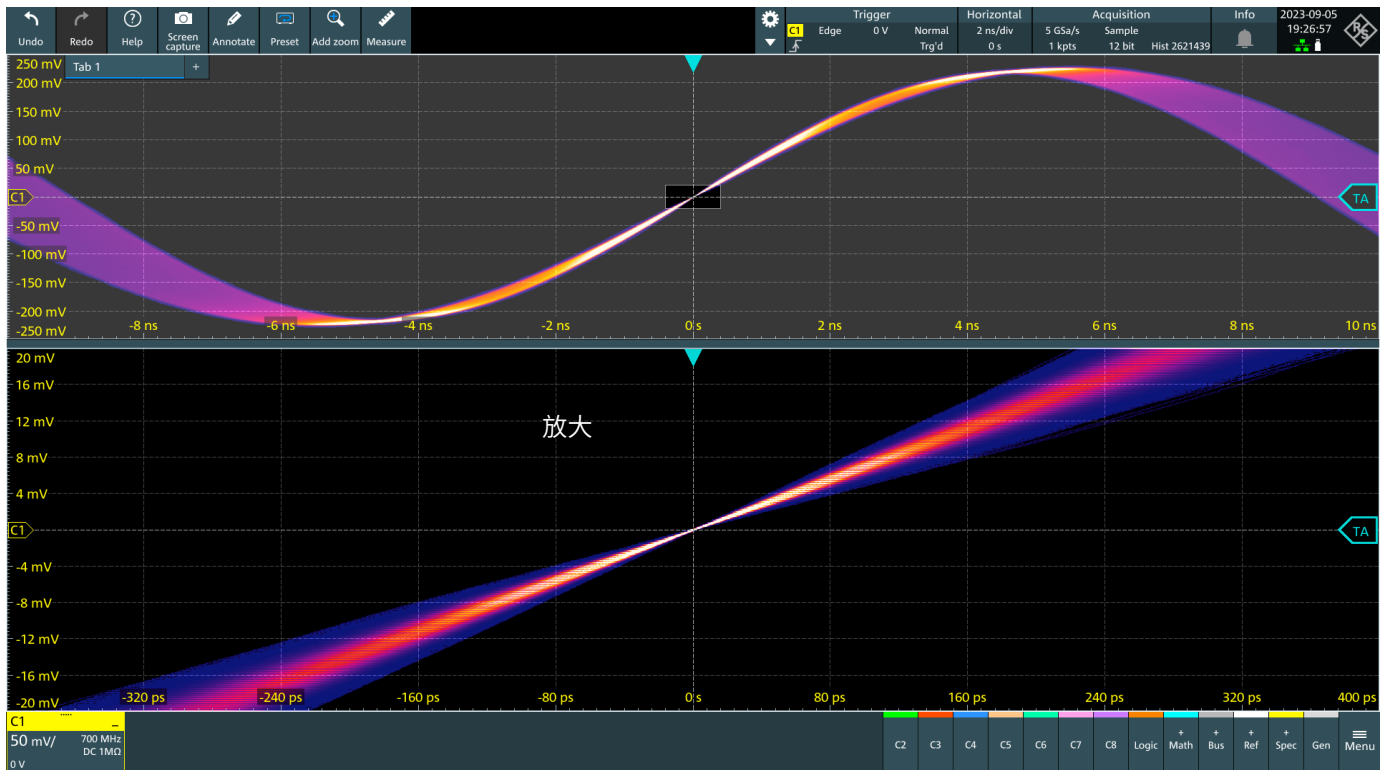


4.6 更小的触发抖动

和数字触发示波器相比,模拟触发示波器的触发抖动更大。在模拟触发架构中,触发路径和信号路径并不相同。示波器检测到触发路径中的触发事件后,必须准确确定信号路径中的相关时间。在连续采集中将出现一定程度的触发抖动。一些示波器制造商采用软件方式来纠正触发抖动。这种软件能够最大程度地减少触发抖动,但需要运行规定的处理周期,因此会延长触发重置时间并降低示波器的整体波形捕获率。

图10:数字触发示波器的触发抖动非常小

R&S®MXO 4和R&S®MXO 5系列示波器的触发抖动不足1 ps,在同类产品中遥遥领先。



5 如何辨别数字触发与模拟触发

大部分示波器采用模拟触发。如果示波器未在规格中作相应说明,可能采用了传统的模拟触发技术。您可以咨询示波器制造商,确定示波器是数字触发还是模拟触发。您也可以根据示波器的一些参数规格进行合理推断:

- ▶ 触发灵敏度:如果示波器的触发灵敏度小于0.1 div,则采用了数字触发架构。模拟触发无法实现这种灵敏度。
- ▶ 用户迟滞控制:如果用户可以在较大的范围内(例如从5 div到0.01 div)设置触发迟滞值,则示波器采用了数字触发。在模拟触发示波器中,用户可以从若干预设值中进行选择,但无法全面控制迟滞设置。
- ▶ 触发重置时间:如果正常模式(非特殊模式)下的最小触发重置时间在数十到数百纳秒范围内,则示波器可能采用了数字触发架构。

6 结语

和传统的模拟触发技术相比,数字触发电路具有诸多优势。了解这些特性,能够清楚确定这些优势在选购示波器时的重要性。

罗德与施瓦茨投入并开发集成数字触发的ASIC技术。罗德与施瓦茨提供以下数字触发示波器:

- ▶ R&S®MXO 4系列示波器:这是新一代R&S®MXO示波器率先推出的示波器系列。所有示波器标配提供数字触发的MXO-EP (Excellent Performance) ASIC技术,并具备灵敏的触发性能。
- ▶ R&S®MXO 5系列示波器:这些八通道示波器具备出色的触发灵敏度。所有示波器标配提供数字触发的MXO-EP (Excellent Performance) ASIC技术。
- ▶ R&S®RTO6示波器:这些示波器集成罗德与施瓦茨开发的数字触发ASIC技术。每个型号标配业界出众的0.0001 div触发灵敏度。
- ▶ R&S®RTP示波器:这款示波器和R&S®RTO6具备相同的数字触发ASIC,同时具备业界一流的触发灵敏度。R&S®RTP的数字触发在高达16 GHz的全带宽下运行,并提供并提供针对去嵌后的信号进行触发功能。

图11:罗德与施瓦茨在数字触发示波器领域占据前沿地位
所有R&S®MXO系列、R&S®RTO6和R&S®RTP示波器均采用数字触发技术。



参数	R&S®MXO 4系列	R&S®MXO 5系列	R&S®RTO6系列	R&S®RTP系列
采用数字触发	•			
用户可选触发迟滞	•			
最小触发灵敏度	0.0001 div			
最小触发重置时间 (运行模式, 20 ns/div)	21 ns		2.5 µs	3.5 µs
触发抖动	< 1 ps			< 80 fs

关于罗德与施瓦茨公司

作为测试测量、技术系统以及网络安全方面的行业先驱, Rohde & Schwarz科技集团通过先进方案为世界安全联网保驾护航。集团成立于90年前, 致力于为全球工业企业和政府部门的客户提供可靠服务。集团总部位于德国慕尼黑, 在全球70多个国家和地区设有分支机构, 拥有广阔的销售和服务网络。

罗德与施瓦茨(中国)科技有限公司

www.rohde-schwarz.com.cn

罗德与施瓦茨公司官方微信

罗德与施瓦茨客户支持

www.rohde-schwarz.com/support



R&S® 是罗德与施瓦茨公司注册商标

商品名是所有者的商标 | 中国印制

PD 3609.0008.55 | 01.00版 | 2024年01月 (sk) | 白皮书

选择下一代示波器: 数字触发的重要性

文件中没有容限值的数据没有约束力 | 随时更改

© 2024 Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG | 81671 Munich, Germany

3609000855

3609 0008 55 01.00 PDFPDW 1 zh CN