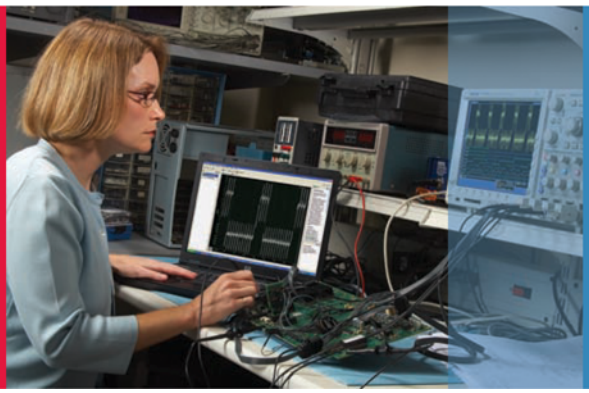

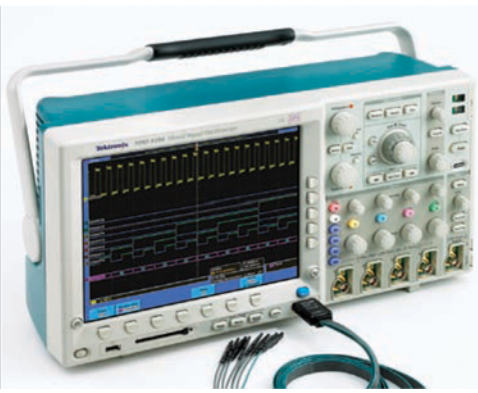

使用混合信号示波器调试数字电路的技巧

应用指南

引言

随着电子产品速度越来越快、越来越复杂，其设计、检验和调试的难度也越来越大。设计人员必须全面检验设计，才能保证产品可靠运行。在发生问题时，设计人员必需迅速了解根本原因，以便解决问题。通过同时分析信号的模拟表示方式和数字表示方式，许多数字问题的根本原因都可以迎刃而解，因此，混合信号示波器(MSO)为检验和调试数字电路提供了理想的解决方案。泰克MSO2000、MSO3000和MSO4000系列混合信号示波器不仅提供了泰克示波器的完美性能，还融合了16通道逻辑分析仪的基本功能，包括并行/串行总线协议解码和触发。MSO系列提供了首选工具，可以采用强大的数字触发、高分辨率采集功能和分析工具，迅速调试数字电路。本应用指南重点介绍检验和调试技巧，帮助您使用泰克MSO系列更高效地实现数字设计。

Tektronix®

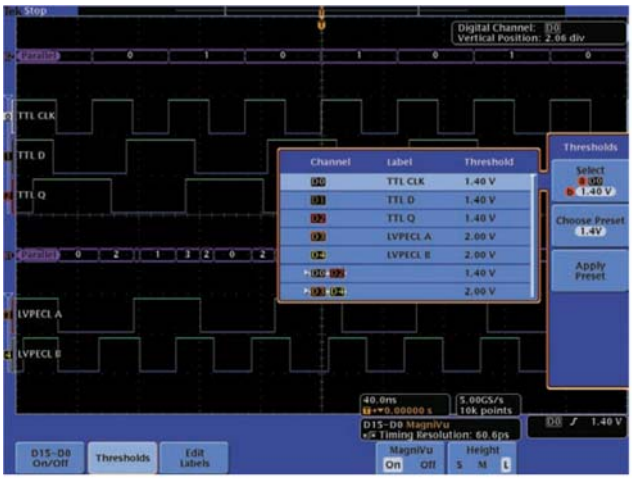

图 1. 同一个 MSO4000 数字探头适配夹上的混合逻辑家族 (TTL & LVPECL)门限设置。上面三条通道是 TTL 信号，门限为 1.40 V；下面两条通道是 LVPECL 信号，门限为 2.00 V。

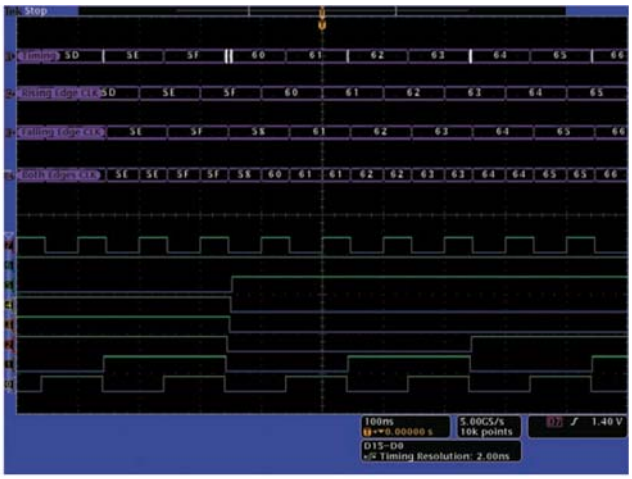

图2. MSO系列上的定时采集实例，它使用设备的时钟信号定义和解码 4 条并行总线。

设置数字门限

混合信号示波器的数字通道把数字信号视为逻辑值高或逻辑值低，与数字电路查看信号的方式一模一样。也就是说，只要振铃、过冲和地电平反弹不导致逻辑跳变，那么这些模拟特点对 MSO 就不是问题。与逻辑分析仪一样，MSO 使用门限电压，确定信号是逻辑值高还是逻辑值低。

MSO4000 系列可以为每条通道独立设置门限，适合调试带有混合逻辑家族的电路。图 1 显示了 MSO4000 在其中一个数字探头适配夹上测量五个逻辑信号，它同时测量三个 TTL （晶体管 – 晶体管逻辑）信号和两个 LVPECL (低压正发射器 – 耦合逻辑)信号。

MSO2000 和 MSO3000 系列则为每个探头适配夹设置门限(一组 8 条通道)，因此 TTL 信号将位于第一个适配夹上，而 LVPECL 信号则位于第二个适配夹上。

定时采集和状态采集

主要数字采集技术有两种。第一种技术是定时采集，其中 MSO 以 MSO 采样率确定的距离相等的时间对数字信号采样。在每个样点上，MSO 存储信号的逻辑状态，创建信号的时序图。

第二种数字采集技术是状态采集。状态采集规定了数字信号逻辑状态有效稳定的特殊时间，这在同步和时钟输入数字电路中十分常见。时钟信号规定了信号状态有效的时间。例如，对采用上升沿时钟的 D 触发装置来说，输入信号稳定时间在时钟上升沿周围。对采用上升沿时钟的D触发装置来说，输出信号稳定时间在时钟下降沿周围。由于同步电路的时钟周期可能并不是固定的，因此状态采集之间的时间可能并不均匀，这一点是它与定时采集的不同点。

逻辑分析仪同时提供了定时采集功能和状态采集功能。混合信号示波器数字通道采集信号的方式与逻辑分析仪在定时采集模式下采集信号的方式类似，如图 2 所示。泰克MSO 系列把定时采集解码成时钟输入总线显示画面(图 2)和事件表(图 3)，其与逻辑分析仪的状态采集显示画面类似，在调试过程中为您提供重要信息。

图3. 在事件表中显示解码的数据，这与逻辑分析仪的状态采集显示画面类似。

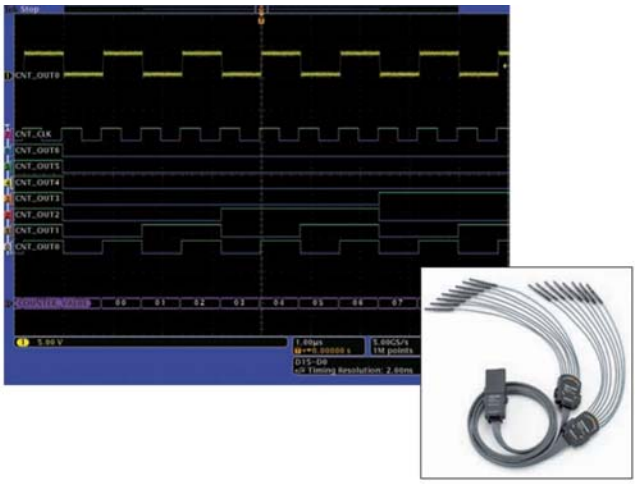

图 4. 探头色码与波形色码一致，可以更简便地查看哪些信号与哪个测试点对应。

带色码的数字波形显示

数字定时波形看上去与模拟波形非常类似，但有一点除外，即它只显示逻辑值高和低。定时采集分析的重点通常是确定具体时点的逻辑值，测量一个或多个波形上边沿跳变之间的时间。为使分析变得更简便，泰克 MSO 系列在数字波形上用蓝色显示逻辑值低，用绿色显示逻辑值低，即使看不见跳变时，用户仍能查看逻辑值。波形标记颜色还与探头色码一致，可以更简便地查看哪个信号与哪个测试点对应，如图 4 所示。

数字定时波形可以分组，建立一条总线。一个数字信号被定义为最低有效位，其它数字信号表示二进制数值的其它位，直到最高有效位。然后 MSO 把总线解码成二进制值或十六进制值。泰克 MSO 系列还建立一个事件表，把逻辑状态显示为二进制值或十六进制值。每种状态都带有时间标记，简化了时序测量工作。

泰克 MSO 系列使用时钟输入格式或非时钟输入格式解码并行总线。对时钟输入解码，MSO 确定指定作为时钟的信号的上升沿、下降沿或两个沿上总线的逻辑状态。这意味着只显示总线上有效的跳变，而不包括数据无效时发生的任何跳变。对非时钟输入解码，MSO 在每个样点上解码总线，显示总线上的每个跳变。在 MSO 使用时钟输入解码时，解码的总线显示画面和事件表与逻辑分析仪的状态显示画面非常类似。由于总线解码是采集后流程，因此您可以在分析过程中灵活地改变解码格式。

泰克 MSO 系列同时解码最多两条或四条总线，具体视型号而定。总线定义为并行或串行(I^2C, SPI, USB, CAN, LIN, FlexRay, RS–232/422/485/UART 和 I^2S/LJ/RJ/TDM)。并行总线由数字通道 D0–D15 中的任意一条通道组成。串行总线由模拟通道 1 – 4 和数字通道 D0 – D15 中的任意一条通道组成。MSO 系列一次显示最多 4 条模拟通道、4 个参考波形、1 个数学运算波形、4 条总线和 16 条数字通道，可以最大限度地了解电路行为。

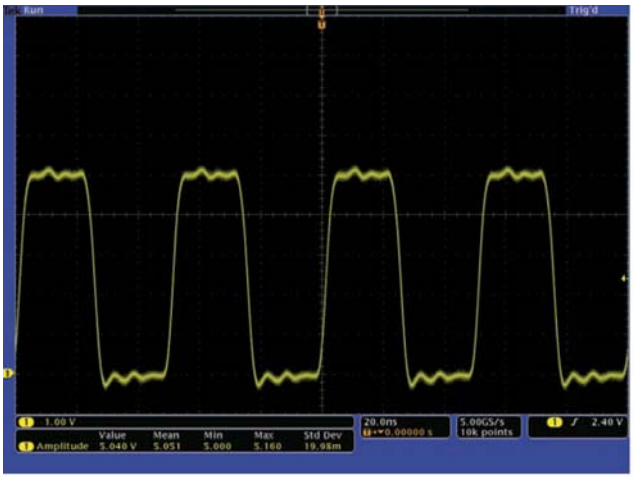

图 5. 使用测量统计功能迅速检验 5 V CMOS 信号幅度。

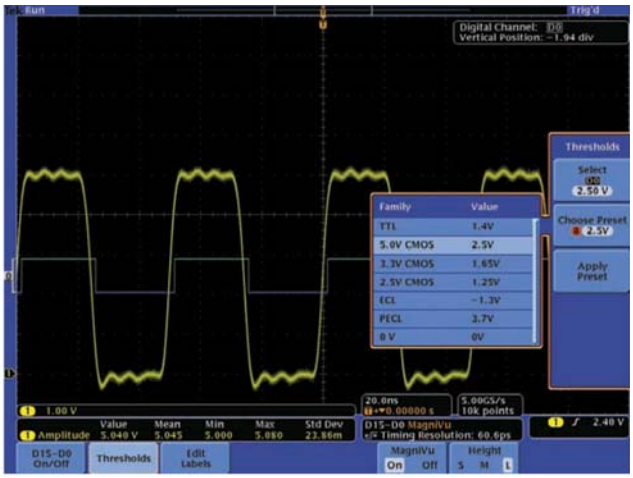

图 6. 对 5 V COMOS 信号，把 MSO 数字门限设置为 2.5 V。

准备进行数字采集

在MSO准备进行数字采集时，基本任务有两项。第一，与逻辑分析仪一样，需要为被测的逻辑家族配置 MSO 数字通道门限，以保证采集正确的逻辑电平。第二，需要调节模拟通道的偏移，以在模拟通道和数字通道之间实现准确的时间相关。

可以使用 MSO 的模拟通道，迅速检查数字信号的逻辑摆幅。在图 5 中，MSO 使用多个采集中的测量统计数据，自动测量 5 V CMOS 信号幅度。对电压摆幅对称的逻辑家族，如 CMOS，门限是信号幅度的一半。在图 6 中，数字通道门限设置为 2.5 V，是 5 V CMOS 信号幅度的一半。但对逻辑摆不对称的逻辑家族，如 TTL，一般需要查阅元件产品技术资料，把逻辑设备最大低电平输入电压值(TTL V_{IL} = 0.8V)和最小高电平输入电压值(TTL V_{IH} = 2.0V)的一半(TTL $V_{threshold}$ = 1.4V)作为门限。

从图6中可以看到同一信号模拟波形和数字波形上升沿之间的时间偏移。模拟波形位于数字波形前面。为准确地进行测量，必需去掉模拟到数字时间偏移，以在模拟波形和数字波形之间更好地实现时间相关。泰克 MSO 系列提供了可以调节的模拟探头偏移校正功能，使模拟通道相对对准，并使模拟通道与数字通道对准。模拟通道偏移校正设置补偿不同模拟探头的传播延迟。

泰克 MSO 系列中每台示波器都带有一只逻辑探头。为简化数字测量，示波器会补偿逻辑探头的传播延迟，因此没有数字通道探头偏移校正调节功能。例如，MSO4000数字通道的通道间偏移指标典型值是60 ps。

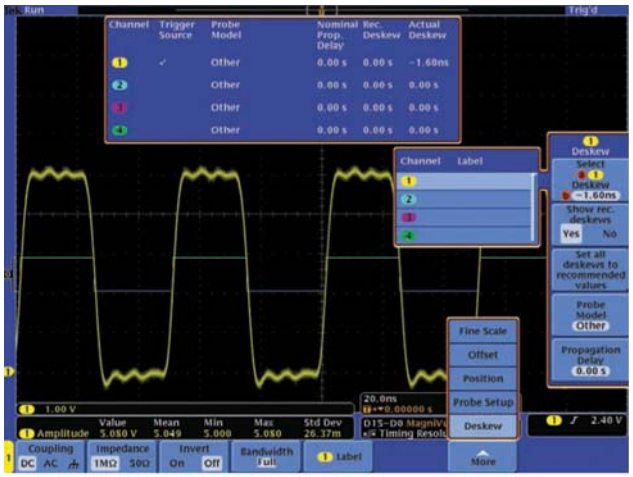

图 7. 模拟通道时间与数字通道对准。

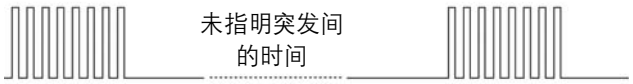

图 8. TTL 突发信号。

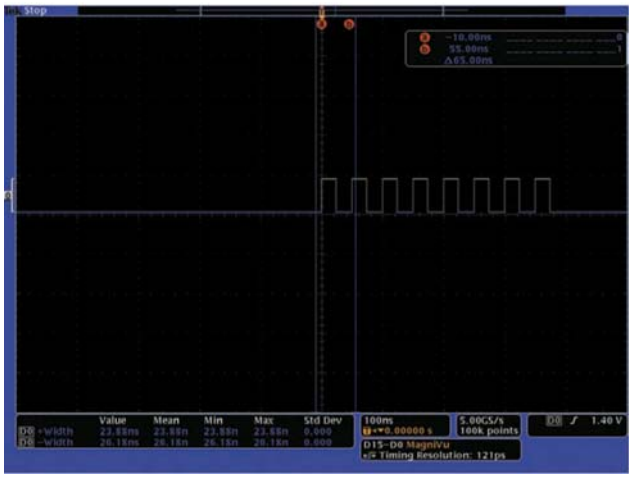

图 9. TTL 突发信号。

为把模拟通道与数字通道对准，CMOS 模拟波形上的 2.5 V 位置需要与 2.5 V 门限上发生的 CMOS 逻辑跳变在时间上对准。如图 7 所示，我们使用 –1.60 ns 偏移校正功能，把模拟通道与数字通道对准。对其它模拟通道，重复这个偏移校正过程。

在模拟探头变化时，应检查模拟通道偏移，在测量不同的逻辑家族时，应检查数字门限。通过配置门限和偏移，MSO 可以随时检验和调试数字电路。下面我们讨论使用 MSO 检验设计的多个实例。

触发非预计事件

第一个实例是检验包含 8 个脉冲的 TTL 突发信号，如图 8 所示。正脉宽指标范围是 23.2 ns – 25 ns，脉冲之间的脉宽是 26 ns–27 ns。突发之间的时间没有指定。

MSO 数字通道连接到 TTL 突发信号上，为 TTL 逻辑设置门限。MSO 配置成上升沿触发。为加快检验过程，MSO 配置成自动测量光标之间的正脉宽和负脉宽。

图 9 显示了单次采集，其中在第一个脉冲沿上触发 MSO。根据按 MSO 单次采集按钮的时间，MSO 可能已经触发采集任何其它上升沿。

采集的信号有八个满足规范的脉冲。第一个正脉冲宽 23.88 ns，负脉冲宽 26.18 ns，这些数值自动测得，都位于规范范围内。泰克 MSO 系列示波器的光标是联动的，一个控件会沿着波形移动两个光标，检查每个正脉宽和负脉宽。这一采集中的所有脉冲都满足规范。

	Value	Mean	Min	Max	Std Dev
D0 +Width	23.88ns	23.87n	23.76n	24.00n	53.62p
D0 –Width	26.18ns	26.17n	26.06n	26.30n	65.31p

图10. MSO系列测量统计，检验TTL突发信号正脉宽和负脉宽。

通过把MSO采集模式从Single变成Run，可以更严格地检查正脉宽和负脉宽。它在多个采集中累加正负脉冲统计数据(平均值、最小值、最大值和标准偏差)，可以为测量统计选择2 – 1,000次采集。

图10的测量统计数据显示正脉宽平均值为23.87 ns，标准偏差为53.62 ps。正脉宽最小值为23.76 ns，最大值为24.00 ns，位于规范范围内。同样，经检验，负脉宽也位于规范范围内。这时，TTL突发信号检验工作进展顺利。

这种检验技术取决于采集和分析的是连续信号的哪些部分。更有力的检验技术是利用泰克MSO系列强大的触发功能检查每个脉宽。例如，MSO可以设置成测量每一个正脉冲，触发<23.2 ns的不合格的脉宽，来检验TTL突发信号。可以使用单次采集模式，在触发后停止MSO，来分析不合格的脉冲。

在图11中，MSO触发<23.2 ns的不合格的正脉冲，在这一采集中捕获了两个错误。第一个错误是第七个脉冲宽3.636 ns，小于23.2 ns的最小规范。第二个错误是漏掉了第八个脉冲。这是使用MSO数字触发查看不合格数字信号的实例。另外，在查找不合格的数字信号时，可以使用MSO触发，查看>25.6 ns的脉冲。在本例中，没有找到任何问题。

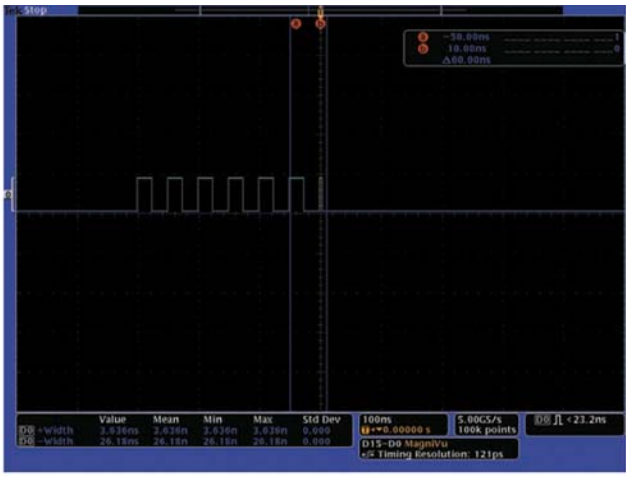

图11. MSO触发采集3.636 ns的正脉宽误差。

这个错误的根本原因在于设计问题。控制脉冲选通的信号与脉冲生成不同步，选通时长偶尔会变化。结果，内部选通间歇性地砍掉第后一个脉冲，削去第七个脉冲。

可以使用这种触发错误的检验技术，长时间监测信号，如隔夜监测或周末监测，从而提供更加严格的设计检验技术。

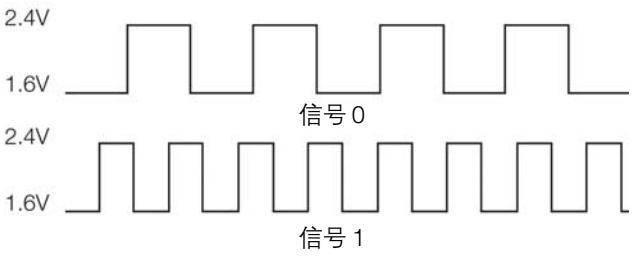

图 12. 周期为 50 ns 的 LVPECL 信号 0 及周期为 90 ns 的信号 1。

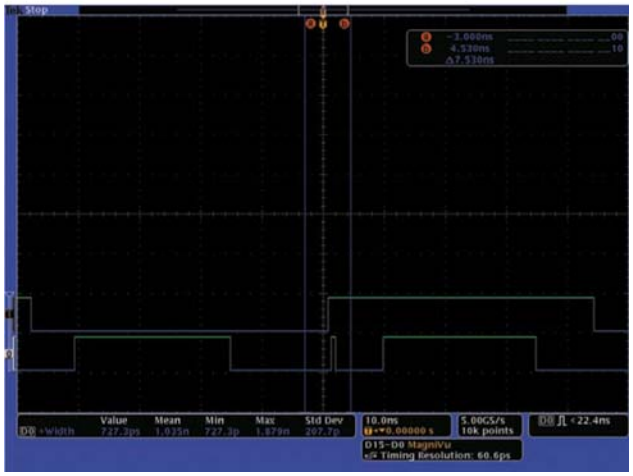

图 13. MSO 触发底部 LVPECL 信号上的 727.3 ps 毛刺。

使用模拟采集和数字采集，全面了解设计情况

在本例中，我们检验两个低压正发射器耦合逻辑(LVPECL)信号。3.3 V LVPECL逻辑值高约为2.4 V，逻辑值低约为1.6 V，因此我们把MSO数字通道门限设置为 2.0 V。

信号 0 是一个周期约为 50 ns 的方波，信号 1 是周期约为 90 ns 的方波，如图 12 所示，两个信号之间没有时间关系。

我们使用上一个TTL突发实例中使用的检验技术，检验这些 LVPECL 信号。为检查不合格信号，我们把 MSO 配置成触发<22.4 ns 的脉宽。在图 13 中，MSO 触发底部信号上的 727.3 ps 毛刺。捕获这个毛刺要求 MSO 的定时分辨率好于 727.3 ps。

MSO 的一个重要的采集指标是捕获数字信号使用的定时分辨率。以更好的定时分辨率采集信号可以更准确地测量信号变化的时间。例如，500 MS/s 采集速率的定时分辨率为 2 ns，采集的信号边沿不确定性是 2 ns。更低的定时分辨率60.6 ps (16.5 GS/s)会把信号边沿不确定性降低到 60.6 ps，可以捕获变化更快的信号。

泰克MSO4000系列同时使用两种采集在内部采集数字信号。第一种采集是对高达 10 M 的记录长度，定时分辨率最低为 2 ns，第二种采集称为 MagniVu™ 高速采集。MagniVu 在以采集点为中心的 10,000 点记录长度采集中的定时分辨率最低为60.6 ps。MSO3000系列提供了高达 121.2 ps 的 MagniVu 定时分辨率。MagniVu 采集显示信号跳变细节，如定时分辨率较低的其它仪器看不到的毛刺。

在图 13 中，在顶部信号上升沿发生时，发生了底部信号毛刺。这可能是一个串扰问题，但在进行这种诊断之前还需要更多的信息。

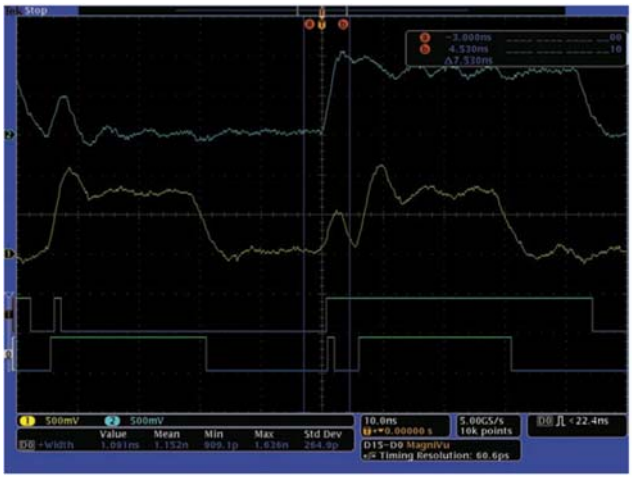

图 14. 导致毛刺的两个 LVPECL 信号之间的上升沿串扰。

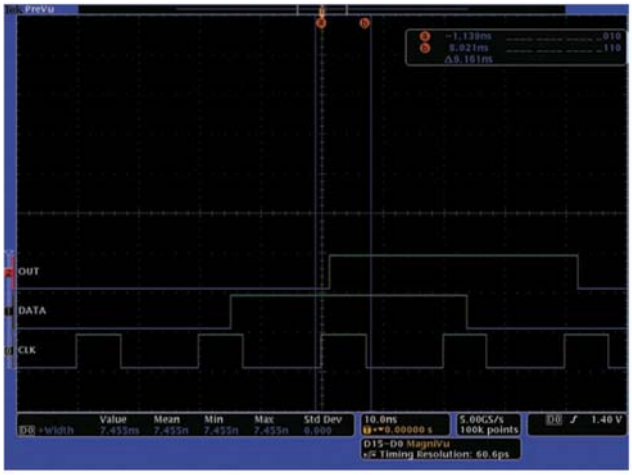

图 16. 根据一次采集数据，D 触发装置看上去运行正常。

MSO 模拟通道连接到两个 LVPECL 信号上，再次启动 MSO，查找小的不合格脉冲。这次，MSO 触发采集一个 1.091 ns 毛刺，MSO 可以从模拟角度了解两个 LVPECL 信号，如图 14 所示。在另一个信号上发生上升沿时，发生了模拟毛刺。大多数模拟毛刺低于 LVPECL 逻辑门限，但有些毛刺越过了逻辑门限，被视为逻辑错误，如显示画面左边顶部波形上的毛刺。

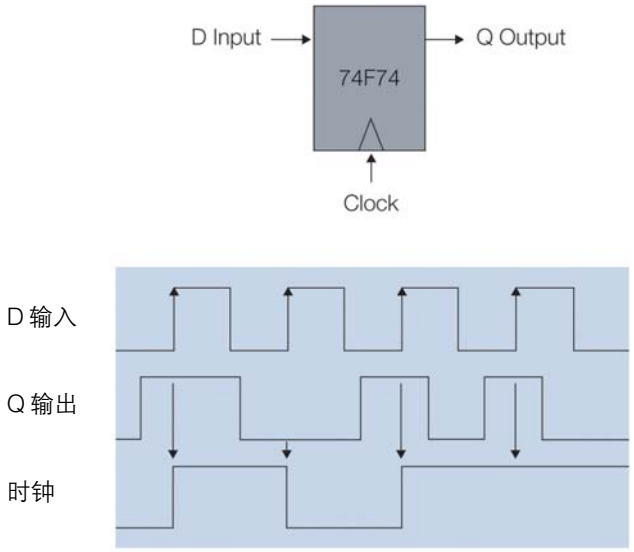

图 15. 74F74 D 触发装置。

MSO 提供了明显的优势，可以同时捕获信号的数字特点和模拟特点，以时间相关的方式显示这些特点，了解数字信号的信号完整性。这些毛刺的根本原因在于两个 LVPECL 信号之间的上升沿串扰。LVPECL 上升沿跳变驱动起来比下降沿更难、更快。结果，上升沿会比下降沿产生明显多得多的串扰。这个采集中没有下降沿串扰迹象。

非单调边沿和建立时间 / 保持时间违规

在本例中，我们检验 TTL 74F74 D 触发装置操作。D 触发装置时钟上升沿把 D 输入加载到 Q 输出上，如图 15 所示。例如，如果 D 输入在时钟上升沿上为高，那么 Q 输出为高。

图 16 显示 MSO 触发时钟上升沿，这是底部波形。D 触发装置数据输入是中间波形，Q 输出是顶部波形。数字通道标上 OUT、DATA 和 CLK，可以轻松地识别每个波形。

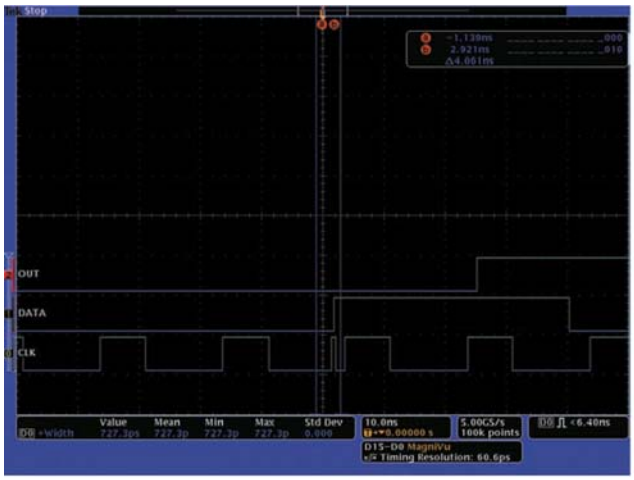

图 17. MSO 捕获 727.3 ps 的时钟毛刺。

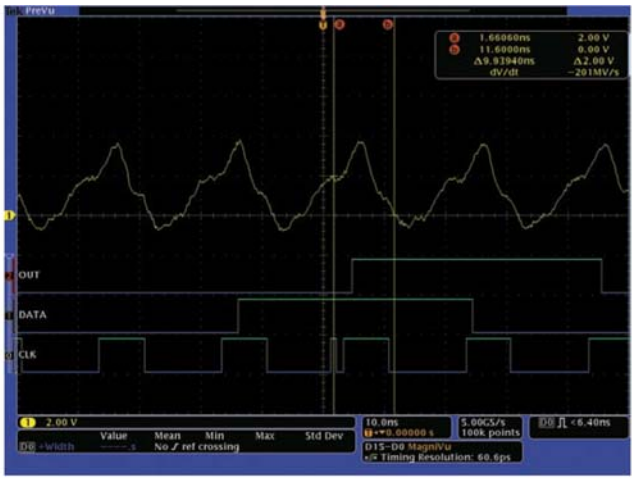

图 18. 非单调时钟上升沿导致的时钟毛刺。

乍一看，一切正常，输入数据在时钟上升沿之后出现在输出上。通过 MSO4000 系列 60.6 ps 的高分辨率 MagniVu 定时采集技术，可以明显看到 D 触发装置的传播延迟。

时钟的正脉宽是 7.455 ns，MSO 触发功能配置成查找 <6.40 ns 的不合格的时钟脉冲。图 17 显示 MSO 触发正常时钟脉冲前时钟信号上的 727.3 ps 毛刺。模拟通道连接到时钟信号上，进一步了解这个毛刺，再次启动 MSO。图 18 显示 MSO 触发时钟毛刺，MSO 可以查看导致毛刺的事件的模拟特点。时钟上升沿是不单调的。使用 MSO 光标，确定毛刺中间的时钟电压是 2 V，把光标向右移大约 500 ps，时钟电压下降到 1.76 V。这个电压下跌导致逻辑状态有很短的一段时间从逻辑值高变成逻辑值低，然后时钟信号的电压持续提高。

74F74 规范的最大低电平输入电压是 0.8 V_{IL}，最小高电平输入电压是 2 V_{IH}。上升时间慢的时钟信号或 V_{IL} 和 V_{IH} 之间的非单调操作会导致不确定的 D 触发装置行为。根据这一采集，非单调时钟边沿似乎没有导致任何问题。检验报告中指明了非单调时钟边沿，下一步是检验 Q 输出操作。

Q 输出只应在输入变化时才变化，变化只应发生在上升沿 +D 触发装置传播延迟处。时钟的固定周期为 20 ns。因此，Q 输出的任何脉冲宽度不应<20 ns，因为 Q 输出只应在相距 20 ns 的时钟上升沿上变化。MSO 配置成触发<19.2 ns 的 Q 输出脉宽。

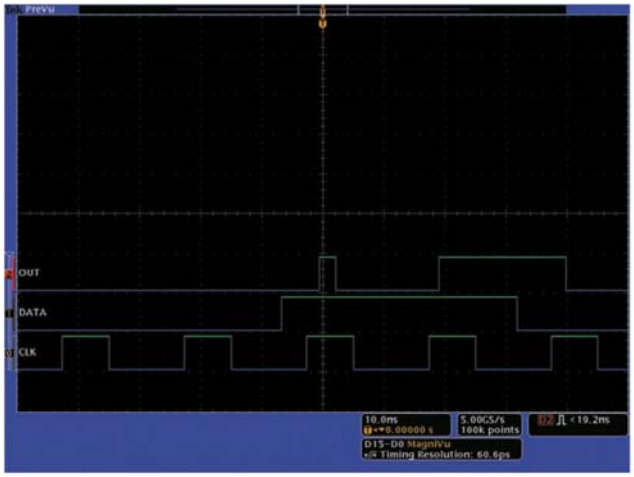

图 19. D 触发装置 Q 输出错误。

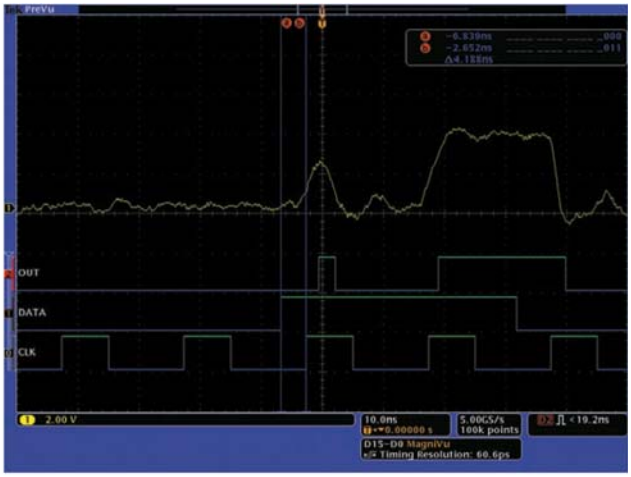

图 20. D 触发装置 Q 输出错误，包括模拟特点。

图 19 显示 MSO 捕获了一个<19.2 ns 的 Q 输出脉宽。注意，这个 Q 输出小于时钟周期。波形分析结果显示，在发生时钟上升沿时，D 输入为高。Q 输出从低到高跳变是正确的，但在 D 触发器操作中，后面的从高到低跳变发生错误，因为跳变与时钟上升沿无关。

模拟通道连接到 Q 输出上，可以进一步了解问题，如图 20 所示。Q 输出模拟信号开始提高，但之后不久下降。注意 Q 输出模拟信号没有达到正常模拟逻辑值高就回降了。

根据过去的调试经验，这可能是 D 输入相对于时钟边沿的建立时间 / 保持时间违规导致的亚稳定毛刺。

在图 20 中，使用光标测得的 D 输入的建立时间是 4.188 ns。这个建立时间是 74F74 的 2 ns 最小建立时间指标的两倍。但是，74F74 没有正常运行，因为 D 输入在时钟边沿前 4.188 ns 变化。

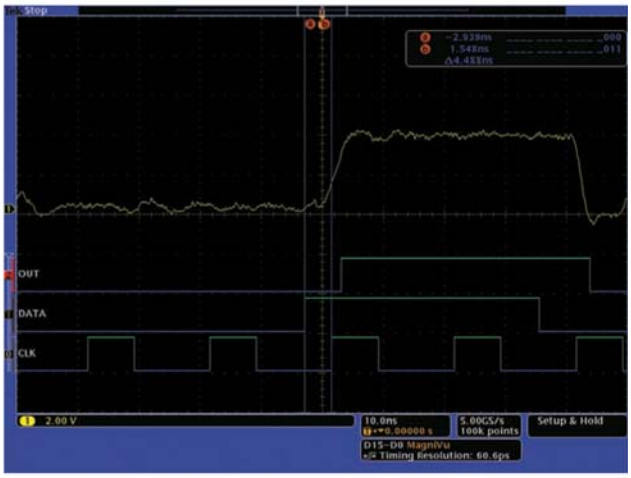

图 21. D 触发装置 Q 输出在时钟上升沿前 4.488 ns 建立时间处正确运行。

把 MSO 触发变成捕获建立时间 / 保持时间违规，以确定这个 74F74 正确运行需要多少建立时间。图 21 显示上升的 D 输入与时钟上升沿之间的建立时间为 4.488 ns 时，Q 输出正常运行。其它采集表明，在建立时间小于等于 4.188 ns 时，Q 输出偶尔会有毛刺。

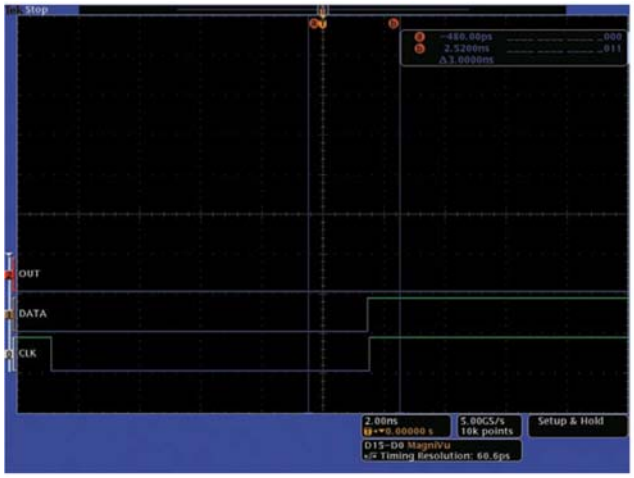

图 22. MSO 触发采集光标‘a’和‘b’之间建立时间 / 保持时间窗口中的 D 触发装置数据变化。

然后，我们检查D输入，确定建立时间/保持时间违规。MSO建立时间/保持时间触发配置成建立时间2 ns、保持时间1 ns，以在时钟上升沿周围的数据有效窗口中检查 D 输入变化。

图 22 显示了一个严重的 D 输入建立时间 / 保持时间违规。光标‘a’位于时钟上升沿前最小 2 ns 的建立时间处，光标‘b’位于时钟上升沿后最小 1 ns 的保持时间处。在时钟上升沿周围这 3 ns 的数据有效窗口中，D 输入必须稳定。规范没有规定D输入在数据有效窗口中变化时，D 触发装置正确工作。

在检验过程的这个点上，D触发装置操作及其信号有三个问题。第一个问题是时钟上升沿不单调。必需重新设计时钟电路，以获得更好的上升沿。第二个问题是 74F74 在 D 输入建立时间为 2 ns–4.188 ns 时不能正确运行，这可能与时钟上升沿差或 74F74 不满足规范有关。第三个问题是 D 输入建立时间 / 保持时间违规。必需重新设计 D 输入电路，以便其在时钟边沿建立时间 / 保持时间窗口中不会变化。

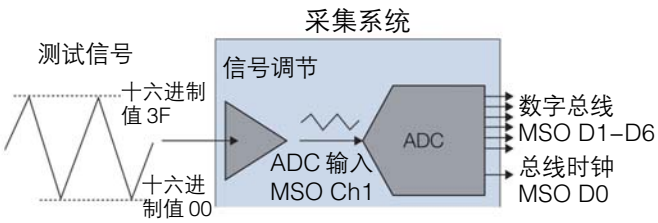

图 23. 检验传感器数据采集系统输出范围。

使用 Wave Inspector® 迅速检验 ADC 输出

在本例中，我们使用固定的测试斜波信号检验传感器数据采集系统的输出范围。传感器数据采集系统是一条模拟信号调节电路，它把信号输送到一条 20 MS/s、6 位模拟到数字转换器(ADC)中。ADC 6位数据总线在ADC时钟下降沿处有效。采集系统输入上的测试斜波信号应生成一个十六进制为 00–3F 的 ADC 取值范围。

MSO 模拟通道连接到信号调节输出上，信号调节输出也是 ADC 输入，这可以迅速检查信号调节输出和 ADC 输入信号。MSO数字通道0连接到ADC时钟输出上，数字通道 1–6 连接到 ADC 6 位数据总线上，如图 23 所示。MSO 设置成触发 ADC 输入信号的上升沿。

图 24. MSO 触发到 ADC 输入的上升沿，Wave Inspector 放大信号，以便可以轻松看到并行总线解码十六进制。测试斜波信号位于通道 1 上。显示画面底部是数字通道 0 上的 ADC 时钟。ADC 数字输出总线信号 1–6 位于时钟波形上方。ADC 数字信号划分到显示画面中心的时钟输入并行总线内。

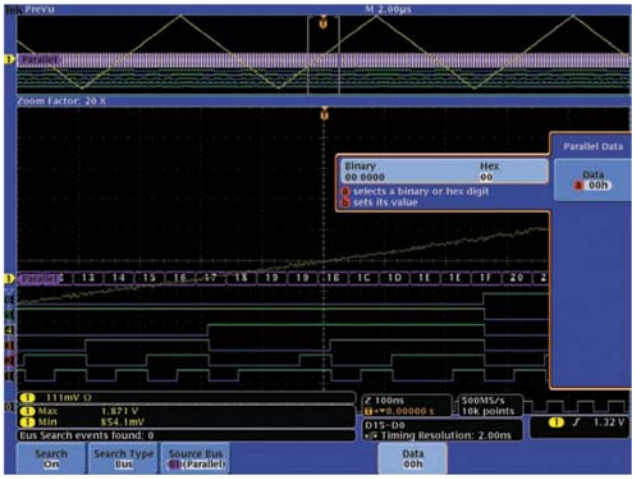

图 25. Wave Inspector 搜索功能在测试信号波谷中没有找到任何十六进制 00。

图 24 显示 MSO 在到 ADC 输入的上升沿处触发。泰克 MSO 系列独有的功能 Wave Inspector® 用来在触发点周围放大 20 倍，可以轻松看到并行总线解码值。ADC 数据在时钟下降沿处稳定，MSO 解码时钟下降沿处的总线值。因此，在 ADC 数据稳定时，并行总线在时钟下降沿处更新。

MSO 强大的触发功能可以找到信号问题，触发并行或串行总线内容，把采集重点放在问题区域上。但是，在采集数据后，将不再应用采集。手动搜索长记录长度可能会非常耗时，而且很麻烦。10 M 点的波形记录相当于 9,700 多屏全部分辨率数据。如果速度是每秒滚动一个全部分辨率屏幕，那么这需要超过 2 小时 40 分钟才能滚动完 10 M 点的波形。而使用 Wave Inspector 搜索及标记 10 M 点记录的 6 位数据总线采集，只需要大约 30 秒的时间。一旦找到和标出数据，那么只需按前面板上的 Previous 和 Next 箭头键，就可以在发生的事件之间转换。另外还可以搜索触发类型，如边沿、脉宽、欠幅脉冲、建立时间/保持时间、逻辑、上升时间/下降时间和总线数据值。

图 25 显示 Wave Inspector 搜索 ADC 并行总线中的十六进制值 00，其应该位于每个测试斜波信号的波谷。但显示画面顶部没有白三角形标记，画面底部的搜索事件读数显示为零，这些都表明没有找到十六进制值 00。没有十六进制值 00 意味着 ADC 没有看到与十六进制 00 对应的模拟输入电压。采集系统模拟信号调节电路没有正确处理测试斜波信号的最小波峰，与 ADC 最小输入电压相匹配，以便 ADC 生成十六进制值输出 00。

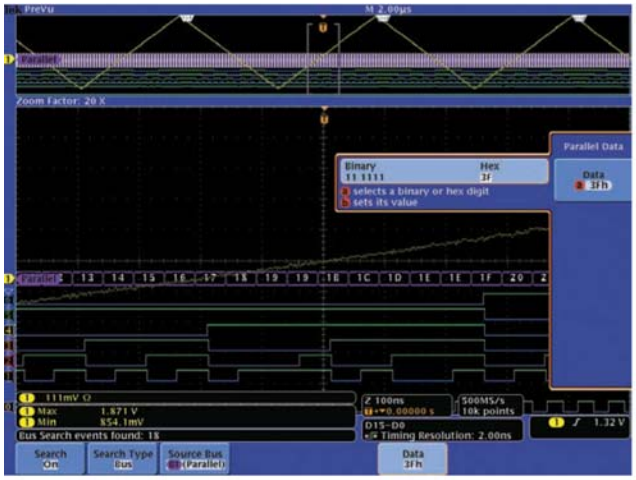

图 26. Wave Inspector 总线搜索功能在测试信号波峰找到太多的十六进制值 3F。

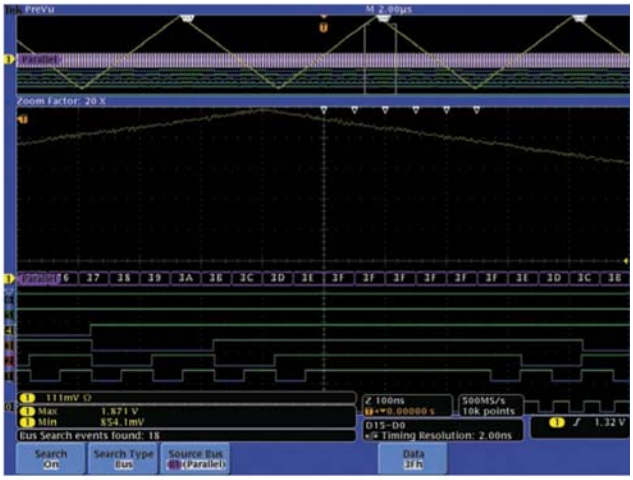

图 27. Wave Inspector 导航功能跳到测试信号波峰标记的十六进制 3F 上。

图 26 显示 Wave Inspector 搜索 ADC 最大输出十六进值3F。Wave Inspector的总线搜索功能找到18个事件。这些事件分成三组搜索标记，这些标记位于测试斜波信号波峰上。但每个波峰有多个十六进制 3F，而每测试信斜波信号波峰上本应只有一个十六进制 3F。

图 27 显示使用 Wave Inspector 右箭头导航键，从图 26 的触发位置跳到触发右面标记的第一个 3F 事件上。注意在 MSO 显示画面中心，ADC 输出总线数据是 37、38、39、3A、3B、3C、3D、3E 和六个十六进制值 3F。正确操作是在测试斜波信号波峰上有一个十六进制 3F。

ADC 输入测试斜波信号削波的顶部可能已经生成多个十六进制 3F，但模拟通道 ADC 输入波看上去很好，其在测试斜波信号波峰上没有削波或失真。相反，测试斜波信号波峰上的多个十六进制 3F 表明，模拟信号超过了 ADC 最大输入电压。信号调节处理的测试斜波信号超过了 ADC 最大输入电压，处理的信号没有达到 ADC 最小输入电压。为解决这个问题，需要调节采集系统信号调节偏置和增益。注意在图 27 的左下角上，ADC 输入波形最大值是 1.871 V，最小值是 854.1 mV。信号调节电路偏置和增益需要同时降低这两个值，才能正确运行。

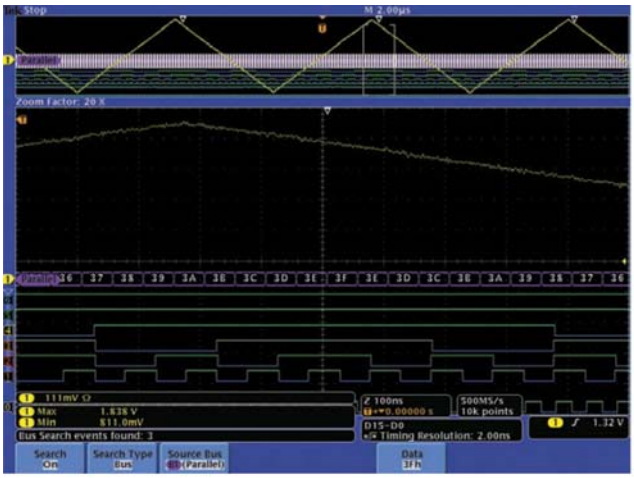

图 28. 每个斜波波峰上有一个十六进制 3F，运行正常。

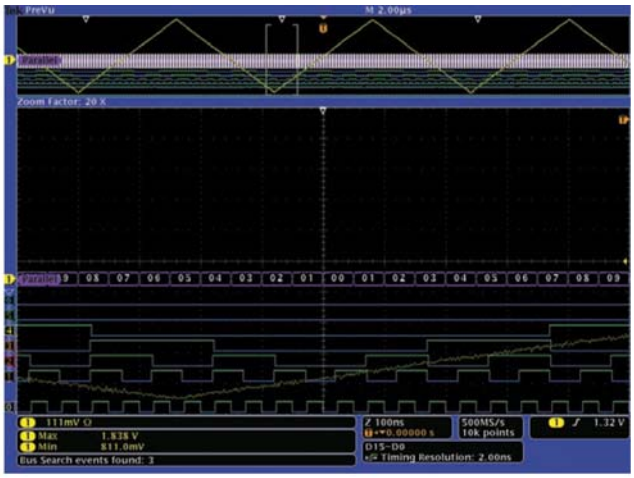

图 29. 每个斜波波峰上有一个十六进制 00，运行正常。

图 28 显示调节采集系统模拟信号调节增益和偏置，为 ADC 提供正确处理的测试斜波信号。在信号调节后，ADC 输入波形的最大值从 1.871 V 下降到 1.838 V。现在，在测试斜波信号的每个波峰只有一个十六进制3F，与预期相符。ADC 的最大输入正确运行。

在图28中，可以轻松看到这一采集中的ADC转换时间。ADC转换时间是从模拟输入波峰到十六进制3F出现在 ADC 输出时的时间周期。

图 29 显示 Wave Inspector 搜索十六进制值 00，这个值应该位于斜波信号的每个波谷中。共找到三个十六进制00，测试斜波信号的每个波谷上有一个十六进制00，与预期相符。最后，可以使用 Wave Inspector 左导航箭头键，跳到左面第一个标记的十六进制值 00 上，检查测试斜波波谷上的 ADC 总线细节，如图 29 所示。在数量下降到最小的十六进制值 00 及在最小值之后数量上升时，采集系统正确运行。总线值保存到 .CSV 文件中，与 Microsoft Excel 进行对比，确定是否有值漏掉或重复。

在本例中，MSO 数字通道解码成时钟输入总线，使用 Wave Inspector 迅速找到或没有找到 ADC 总线最大值和最小值。我们可以迅速确定问题的根源是模拟信号调节电路。

小结

对检验设计中数字电路、模拟电路和软件复杂的交互特点的设计人员来说，泰克MSO系列示波器具有重要意义，其不仅提供了基本逻辑分析仪功能，还提供了示波器的简便易用性，并拥有完善的工具，包括强大的数字触发功能、高分辨率采集功能和内置分析工具，可以迅速检验和调试数字电路。

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	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^2C, SPI DPO4USB: USB DPO4COMP: RS–232/422/485/UART DPO4AUTO: CAN, LIN DPO4AUTOMAX: CAN, LIN, FlexRay DPO4AUDIO: I^2S/LJ/RJ/TDM	DPO3EMBD: I^2C, SPI DPO3COMP: RS–232/422/485/UART DPO3AUTO: CAN, LIN DPO3AUDIO: I^2S /LJ/RJ/TDM	DPO2EMBD: I^2C, 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。

泰克中国客户服务中心全国热线：400–820–5835

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

泰克北京办事处
北京市海淀区花园路4号
通恒大厦1楼101室
邮编：100088
电话：(86 10) 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
九龙尖沙咀加连威老道2-6号
爱宾大厦15楼6室
电话：(852) 2585 6688
传真：(852) 2598 6260

了解更多信息

Tektronix 维护一个全面的和不断扩展的应该文章、技术简介和其他资源的集锦，可帮助工程师使用最新的技术。请访问 **www.tektronix.com.cn**

版权© 2009 年，泰克公司保留所有权利。泰克产品受已经签发和正在申请的美国和国外专利保护。本文中的信息代替以前出版的所有材料。泰克保留改变本文中的技术数据和价格的权利。TEKTRONIX和TEK是泰克公司的注册商标。本文中提到的所有其它商号均为各自公司的服务标志、商标或注册商标。

10/09 JS/ 3GC–24008–1

Tektronix®