通过测试示波器
了解其最佳信号可视性

应用指南 1604

如何增加
找到偶发毛刺的几率

Agilent Technologies

目录

简介 2

了解示波器静寂时间 3

掷色子的启示 4

混合信号测量比较 5

查看带有低时基的偶发事件 9

串行总线测量比较 10

总结 12

附录 A: 波形更新速率和解码更新速率比较 13

简介

混合信号示波器(MSO)已成为当今嵌入设备设计师的首选工具。安捷伦科技公司(前惠普公司)于1996年推出了首款MSO，并于近日推出了第三代MSO。所有主要示波器厂商现在都可提供混合信号示波器。MSO在基础示波器功能中增加了16个或更多逻辑分析仪采集信道，及串行总线触发和协议解码功能，研发工程师和技术人员可更快调试其混合信号设计。MSO可弥补传统数字存储示波器(DSO)和当今更加复杂的逻辑分析仪及串行总线协议分析仪之间的差距。那么MSO与传统DSO相比，有哪些改善? 不同厂商的MSO之间的差别是什么?

所有主要示波器厂商现在都宣称其MSO可具有和相同带宽DSO相同的性能。但事实绝非如此。尽管基础采集性能(例如带宽和采样率)与同类DSO相比可能不会下降，但除了安捷伦，其他所有厂商的MSO在一个非常重要的性能方面都有所下降，即波形更新速率和串行总线解码更新速率。

MSO和DSO的快速更新速率之所以重要，有三个原因。首先，如果示波器的波形更新非常慢，那么会让使用示波器的人感到沮丧。如果您旋转时基控制，您一定希望示波器可以立即响应，而不是等示波器完成处理数据几秒钟之后才有所响应。其次，快速波形更新速率可改善示波器显示质量，可通过调节显示强度来显示微小的波形细节，例如噪声和抖动。但最重要的是，快速波形更新速率可提高示波器捕获随机和偶发事件的可能性，从而使您不必再为此熬夜。

Agilent InfiniiVision系列MSO，当您只使用示波器通道时具有最快波形更新速率(使用默认实时采样模式时多达每秒100,000个波形)，且当您使用逻辑采集通道和/或串行总线解码时，它是业界唯一可保持这种快速更新速率的MSO。尽管其他厂商可能标榜其MSO波形更新速率较快，但当您使用逻辑通道和/或串行总线解码时，他们的示波器的更新速率将明显下降。

此应用指南包括同类示波器的测量案例，比较了不同厂商的MSO捕获异常事件的几率。但您首先需要了解几个影响示波器更新速率的因素，之后此指南将告诉您如何计算捕获偶发事件的几率。

了解示波器静寂时间

当您调试新设计时，波形和解码更新速率非常重要，尤其是当您尝试找出并调试偶发或间歇发生的问题时。这是最难以解决的问题。更快的波形和解码更新速率可提高示波器捕获偶发事件的几率。要知道这是为什么，首先您必须了解什么是示波器的“静寂时间”。所有示波器都有“静寂时间”，如图1所示。即是指示波器两次采集之间(即示波器处理上一个捕获波形，然后将其显示在示波器显示屏上)的时间。在此处理过程中或静寂时间内，示波器基本上“无视”您正在调试的混合信号设计中任何信号的活动。

请注意图 1 中突出显示的毛刺发生在示波器的静寂时间内。在两次示波器采集周期之后，这些毛刺也不会显示在示波器屏幕上。

请不要混淆“实际”和“有效”静寂时间的区别。使用示波器的深存储器，根据时基设置(sec/div)的定义，示波器可捕获比屏幕上显示的更多的波形数据。尽管示波器能够捕获异常情况(例如图中所示的第二个毛刺)，但如果毛刺不在示波器的显示窗口中出现，当您查看重复采集时就不会知道曾经出现过毛刺。因此，我们认为屏幕外采集时间是一部分“有效”静寂时间。

当您知道设备的更新速率时，可轻松确定示波器的静寂时间百分比。示波器的静寂时间百分比等于示波器采集周期时间减去屏幕上采集时间得出的值，再除以示波器采集周期时间的比率。示波器的采集周期时间是示波器波形更新速率的倒数，必须根据所使用的独特的设置条件进行测量。下面的方程总结了如何计算示波器的静寂时间百分比:

$$
\begin{aligned}
\%\,DT &= \text{MSO 的静寂时间百分比} \\
&= 100 \times [(1/U) - W]/(1/U) \\
&= 100 \times (1 - UW)
\end{aligned}
$$

其中

U = MSO 的测量更新速率

及

W = 显示采集窗口 = 时基设置 x 10

这是一个不争的事实，大多数示波器厂商绝不会承认示波器的静寂时间比屏幕上采集时间要长许多倍 – 即使更新率很快的示波器情况也是如此。

也就是说，使用示波器采集偶发事件是靠几个不同的设置参数的几率来打赌的。事实上，示波器捕获偶发事件的几率和掷色子时猜中哪一面向上的几率差不多。首先让我们来看掷色子的几率，再来看它和示波器捕获几率之间的相似吧。

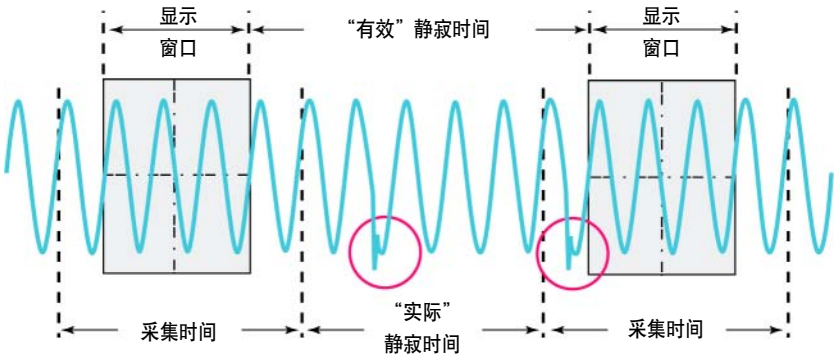

图 1. 示波器静寂时间和显示采集时间

掷色子的启示

当您一次掷一个色子(六面)时，某一面向上的几率是 1/6。非常好算！那么掷两次色子时，同一面向上的几率是多少呢?没有认真思考之前，有人可能直观的认为几率为2/6或33.3%。假设这是对的，那么掷10次色子时同一面向上的几率岂不大于 100% 了吗，这显然是不可能的。“S”面的色子掷“N”次时，同一面向上几率(P_N)的百分比为:

$$P_N = 100 \times (1-[(S-1)/S]^N)$$

为了便于理解，实际上计算某一面不向上的几率比计算某一面向上的几率要简单的多。掷色子时某一面不向上的几率为“(S-1)/S”。因此一个六面的色子某一面不向上的几率是5/6。掷色子的次数(N)越多，同一面不向上的几率成指数下降。也就是说同一面向上的几率有所增加，但是绝不会达到或超过 100%。

图 2. 仅有一面带有“毛刺”的多面色子

对于示波器捕获几率来说，“S”是异常事件发生的平均出现时间对示波器显示窗口时间的比率。因此，举例来说，如果一个毛刺每 10 ms (每秒100次) 出现一次，而示波器时基设置为20 ns/div，则屏幕上捕获时间为200 ns，那么S = 10 ms/200 ns或50,000。

在此例中，即是一个 50,000 的色子，您可以借助图2中的色子想象一下，带有毛刺的波形图的那面向上的几率。因此仅一次采集就捕获毛刺的几率是1/50,000，而无法捕获毛刺的几率是 49,999/50,000。

为了在固定时间段内提高捕获偶发毛刺的几率，示波器必须多次捕获信号，而且越快越好。这就是方程中要加入的示波器波形更新速率因数。“N”代表示波器采集数量，等于示波器波形更新速率的倍数乘以适当的观察时间。观察时间是指观察示波器屏幕上的波形的时间，以确定将探头移向另一个测试点之前状态是否正常。对于示波器来说，异常事件捕获几率方程可简化为:

$$P_t = 100 \times (1-[1-RW](U \times t))$$

其中

P_t = 在“t”秒内捕获异常事件的几率
t = 观察时间
U = 示波器的测量波形更新速率
R = 异常事件发生率
W = 显示采集窗口 = 时基设置 x 10

混合信号测量比较: Agilent InfiniiVision MSO7104A

使用上述几率方程，可在三个示波器厂商相似的 1 GHz 带宽性能的MSO之间进行测量比较。除了可确定捕获偶发毛刺的几率，还可根据使用的测量设置条件来确定示波器的静寂时间百分比。

尽管决定示波器实际波形更新速率和静寂时间的因素很多，但是这里的测量比较从每个带有默认设置配置的MSO开始。对于测量比较(20 ns/div)时的时基设置，每个示波器的默认配置是当波形更新速率最大时将最大程度减小采集内存。使用默认实时采样模式时，我们使用每台示波器上的两个模拟采集通道探测两个数字信号，同时使用MSO的逻辑通道探测 5 个时间相关的数字信号。不打开参数测量或波形运算功能。这一步也可最大程度地为大部分示波器提高更新速率。

用作触发源的信号(信道1输入的上升沿)在下降沿上出现了极大的抖动，在上升沿上同时出现偶发亚稳状态(毛刺)。可以确定偶发毛刺平均每秒发生大约100次。为了确定捕获毛刺的几率，在计算中假定5秒是合适的观察时间。

从图 3 中可以看到 Agilent MSO7104A 在通道 1 中可靠地捕获了随机和偶发亚稳状态(毛刺)，同时使用 MSO 的逻辑输入通道捕获了几个数字信号。测量波形更新速率约为每秒 95,000 个波形，Agilent MSO可轻松在中心屏幕触发点显示偶发异常，并可在5秒的观察波形时间内显示信号下降沿的抖动。

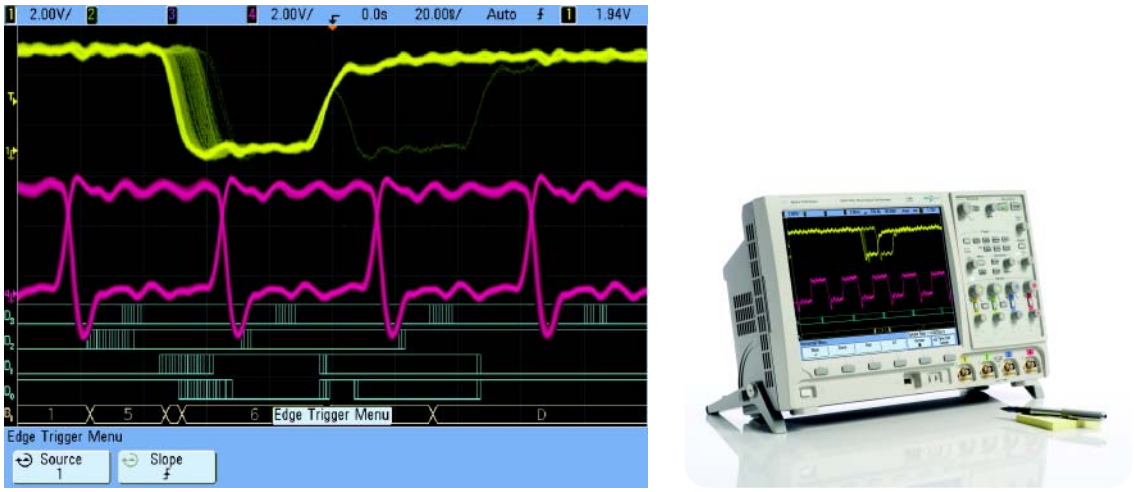

图 3. Agilent MSO7104A 使用逻辑通道在通道 1 内快速捕获偶发亚稳状态

InfiniiVision 示波器在先进的 1.3 micron ASIC 中结合了采集存储器、波形处理和显示存储器。这种已获专利的第三代技术 – MegaZoom III，可提供高达每秒 100,000 个波形 (采集)，并可一直提供深存储器响应。

混合信号测量比较: Tektronix MSO4104

采集显示窗口为200 ns(20 ns/div x 10 div)、采集周期时间为10.5 µs(1/95,000波形/秒)、因此测量的静寂时间百分比为:

$$\%\,DT = 100 \times (1-(95{,}000/s \times 200\,ns)) = 98.1\%$$

当时基设置为20 ns/div时，尽管MSO的静寂时间百分比约为98%，但直观上显得过长，在5秒内捕获毛刺的几率实际上非常高，通过以下几率计算得出:

$$P_{(5s)} = 100 \times (1-(1-(100/s \times 200\,ns))^{(95{,}000/s \times 5s)}) = 99.9925\%$$

请注意每个示波器的每个设置条件下都必须测量实际波形更新速率，这是因为几个不同的设置参数使波形更新速率变化很大。不要仅相信每个厂商所标榜的波形更新速率。本文的附录A中提供了各种不同设置条件下的更新速率表以供比较。

使用Tektronix MSO4104混合信号示波器，测量结果有很大差异，如图4所示。当打开MSO的逻辑通道时，最大波形更新速率降至仅每秒125个波形。5秒的观察时间之后无法在通道1中观察亚稳状态。尽管每秒125个波形会产生变化的响应显示，并且显得更新很快，但从统计学上来说，此更新速率完全不足以捕捉偶发异常(例如平均每秒出现100次的亚稳状态)。这是因为设置为20 ns/div时，每秒125个波形时示波器的静寂时间极长。

$$\%\,DT = 100 \times (1-(125/s \times 200\,ns)) = 99.998\%$$

图 4. 5秒的观察时间之后，Tek MSO4104无法捕获偶发亚稳状态

混合信号测量比较:
LeCroy WaveRunner 104Xi 带有 MSO 500

使用Tektronix MSO无法在5秒的观察时间之后观察到偶发亚稳状态，原因是静寂时间太长从而捕获毛刺的几率极低。如果假设信号中只有一个问题，而且您愿意等，此示波器最终会捕获这个亚稳状态。以下是使用 Tek MSO 时在 5 秒观察时间后捕获毛刺的几率。

$$P_{(5s)} = 100 \times (1- (1- (100/s \times 200\,ns))^{(125/s \times 5s)}) = 1.24\%$$

图 5 显示了使用带有外置 MS-500 MSO选件的LeCroy WaveRunner 104Xi进行同样测量的情况。即使选择最小存储器，此MSO的更新速率仅有每秒 27 个波形，且无法看到通道1信号的偶发毛刺和抖动。以这么慢的更新速率，示波器的显示将比之前测试的MSO响应更加迟钝，静寂时间也大幅增加。使用这种测量和设置条件，示波器的静寂时间百分比应为:

$$\%\ DT = 100 \times (1-(27/s \times 200\,ns)) = 99.9995\%$$

使用此厂商的MSO在5秒内捕获偶发亚稳状态的几率极低，请见以下公式:

$$P_{(5s)} = 100 \times (1-(1- (100/s \times 200\,ns))^{(27/s \times 5s)}) = 0.27\%$$

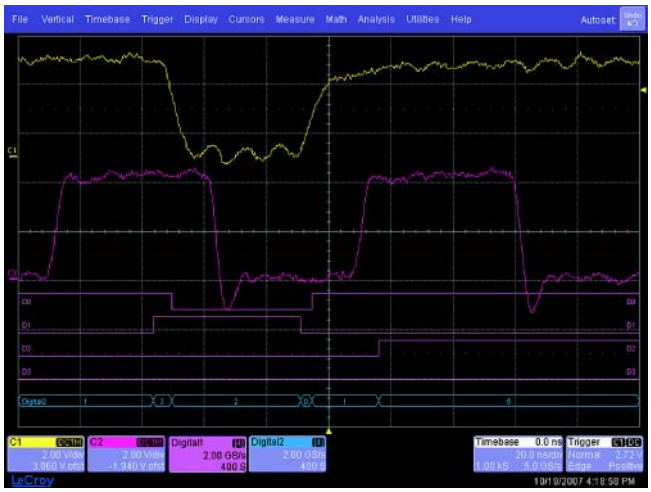

图5. 5秒的观察时间之后，LeCroy WaveRunner 104Xi - MS500无法捕获偶发亚稳状态

混合信号测量几率比较

下面的表1总结了使用4种不同时基设置测试的每个 MSO 的静寂时间百分率和毛刺捕获几率。在所有测试中，我们均打开2个模拟通道和5个逻辑通道，并以自动或手动方式对存储器深度进行了优化，使每个示波器都能达到最大的指定采样率以提供1 GHz实时带宽，并且通过占用最小的采集存储器来支持该采样率。在这些测量和理论计算中，设定毛刺发生率为100个毛刺/秒，观测时间为5秒。

表 1. MSO 静寂时间以及使用模拟和数字通道时的毛刺捕获几率

	Agilent MSO7104A			Tek MSO4104			LeCroy WR104Xi-MS500		
时基	更新速率	静寂时间	毛刺捕获几率	更新速率	静寂时间	毛刺捕获几率	更新速率	静寂时间	毛刺捕获几率
2 ns/ 格	74,000	99.85%	52.29%	130	99.999%	0.13%	30	99.999%	0.03%
20 ns/ 格	95,000	98.1%	99.993%	125	99.998%	1.24%	30	99.999%	0.30%
200 ns/ 格	63,000	87.4%	99.999..%	125	99.978%	11.75%	30	99.994%	2.96%
2 µs/ 格	8,000	84.0%	99.999..%	125	99.780%	71.39%	207	99.960%	18.14%

在较慢时基条件下观测偶发事件

通过延长显示采集时间，可以在较慢时基范围内获得较慢的更新速率。

在较慢时基范围内，捕获异常波形的几率也会增加。这一点非常重要，因为静寂时间百分率会随着时基设置的变慢而降低。但是，不要以为使用较慢的时基范围来捕获窄毛刺结果会更好。虽然示波器在以非常快的速率进行采样时显然有更大的机会来捕获窄信号异常，但您可能无法用肉眼在这些较慢时基范围内发现窄信号异常。图 6 显示了 Agilent MSO 在时基设置为 2 µs/ 格时捕获同前面所示一样的亚稳状态的示例。示波器可轻松捕获 15 ns 宽的毛刺，但我们在这种时基设置下无法观测到它。

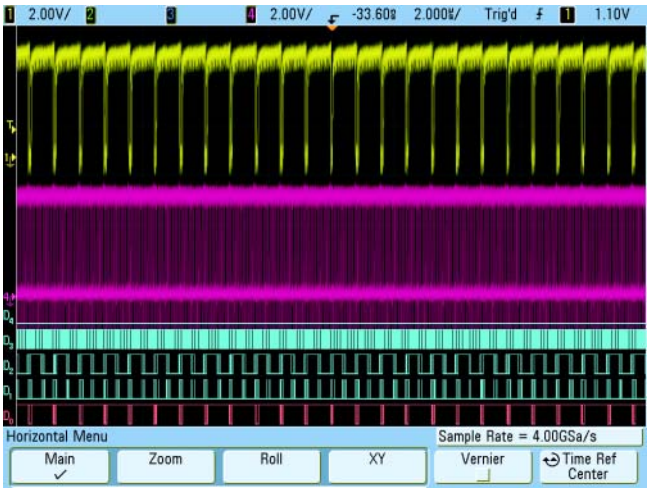

图 6. 虽然将时基缩放到较慢的范围内可提高 MSO 捕获毛刺的几率，但是在重复采集波形时，我们无法用肉眼识别高速毛刺

串行总线测量比较: Agilent InfiniiVision MSO7104A

目前的大多数嵌入式设计都包括串行总线通信，例如I^2C、SPI、RS-232、CAN和LIN。示波器用户通常使用可视的位计数技术来解码这些串行总线，以验证正确的总线通信。然而，手动进行位计数不仅非常烦琐，而且容易出错。目前许多DSO和MSO都提供可选的内置串行总线触发和协议解码功能，从而显著提高了设计人员的工作效率。

然而，当搜索偶发的串行总线误码(例如错误帧和/或奇偶错误)时，大部分具有串行总线解码能力的示波器都采用软件解码技术，这会进一步降低示波器的更新速率。Agilent InfiniiVision DSO和MSO是唯一使用基于硬件的串行总线解码的示波器。通过基于硬件的解码，更新速率可以保持在示波器的最大速率上—而不会影响其性能。

图7显示使用Agilent MSO7104A调试CAN串行总线的示例。示波器的主时基设置为1 ms/格时，Agilent MegaZoom III技术会自动增加和优化其采集存储器深度，以便将其采样率提高到最高水平。在这个测量示例中，示波器设置为在数据帧$07F_{HEX}$进行触发。在错帧率为2%左右的情况下，当示波器随机捕获错误帧(不会真正在错误帧条件下进行触发)时，我们很快可以看到红色的错误帧消息在屏幕上闪烁。在本例中，捕获错误帧的几率是99.77%。同时还要注意，MSO7104A提供了一个实时累加器，用于计数在零静寂时间下接收到的所有错误帧。即使示波器已停止采集，累加器仍将继续计数错误帧和发生率。

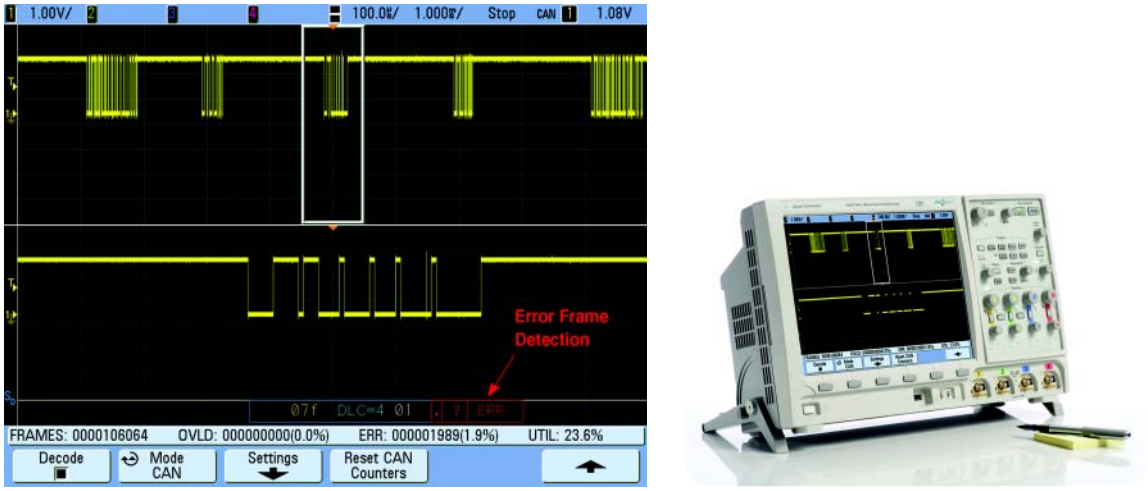

图7. Agilent MSO7104A使用基于硬件的解码，能够可靠地捕获和解码CAN错误帧