

## 示波器基础系列之三

## —— DSO中的内插技术

Peter J. Pupalaiakis, 美国力科公司首席科学家

## 引言

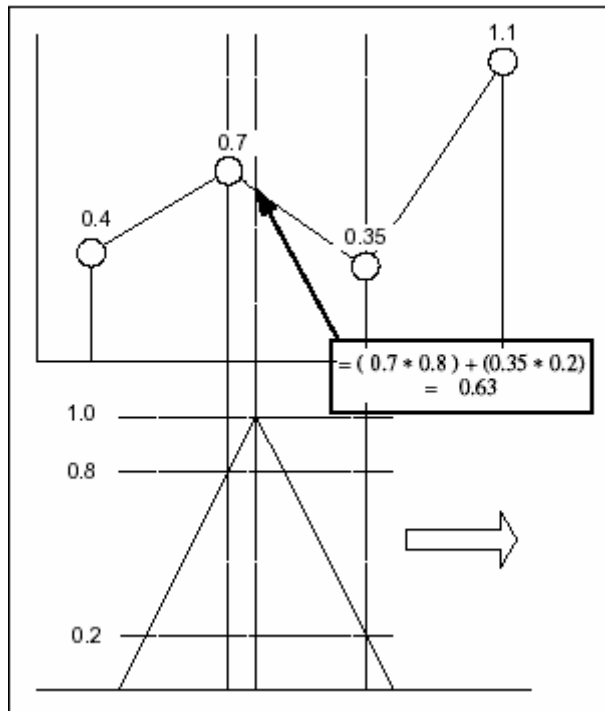
内插是当前数字示波器中的一项重要功能。DSO的主要用途是分析和查看模拟波形。为此，DSO以某种有限采样率对波形采样，相对于时间生成电压矢量。由于这个矢量代表着一个样点集(而不是实际平滑的模拟波形)，因此通常需要在实际采集点之间生成预测的样点，来修改采集的波形。在实际波形样点之间生成样点的过程称为*内插*。在正常操作时，内插可以得到一个采样率较高的、更接近被分析模拟波形近似值的波形。

本文将讨论两种最流行的内插方法，解释其基本工作方式。然后，本文将介绍怎样保证良好的内插结果及怎样确定什么时候适合采用内插。本文使用部分简单的试验，比较了三种高端示波器的内插性能。最后，本文比较了内插操作的差异。

## 线性内插

最简单的内插形式是线性内插。线性内插假设一条直线把每个波形样点连接起来，这是一种非常简单而又自然的方法，提供的结果有限。

注：来自Merriam-Webster字典2003年的定义



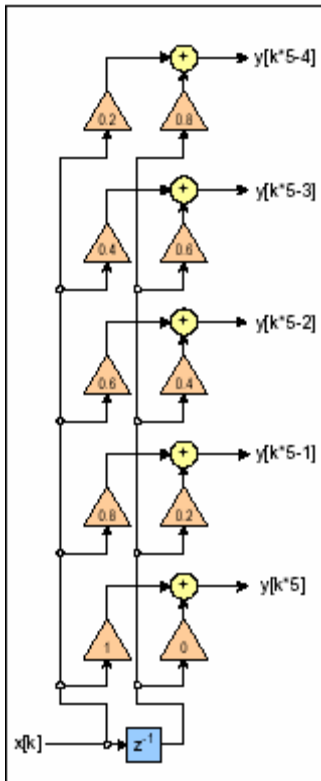
线性内插可以视为使用三角形窗口过采样的波形的卷积。

通过生成高1.0、宽为采样周期两倍的三角形，构成三角形窗口。

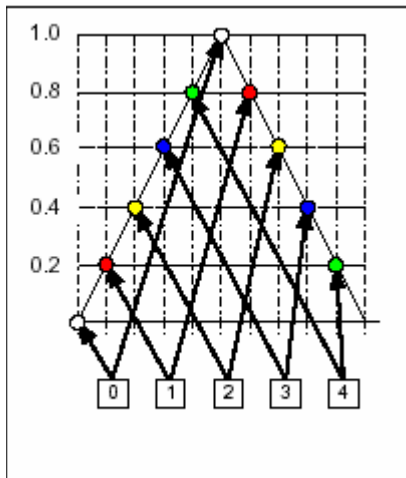
随着窗口滑到右面，通过把窗口值之和乘以窗口和样点相交时的实际样点值，得到内插点。内

插的样点放在窗口顶点时间上。

窗口宽度定义了其存储器，即实际样点影响内插样点的时间。由于窗口宽度是采样周期的两倍，只有落入内插样点时间内的样点才影响着内插值。



通过使用过采样排列的数字滤波器，也可以实现这种卷积。图中所示的排列是一个5点过采样器。在这一排列中，每个新样点都生成5个新样点。滤波器输出仅与新输入和最后一个输入有关。滤波系数通过对窗口采样生成。

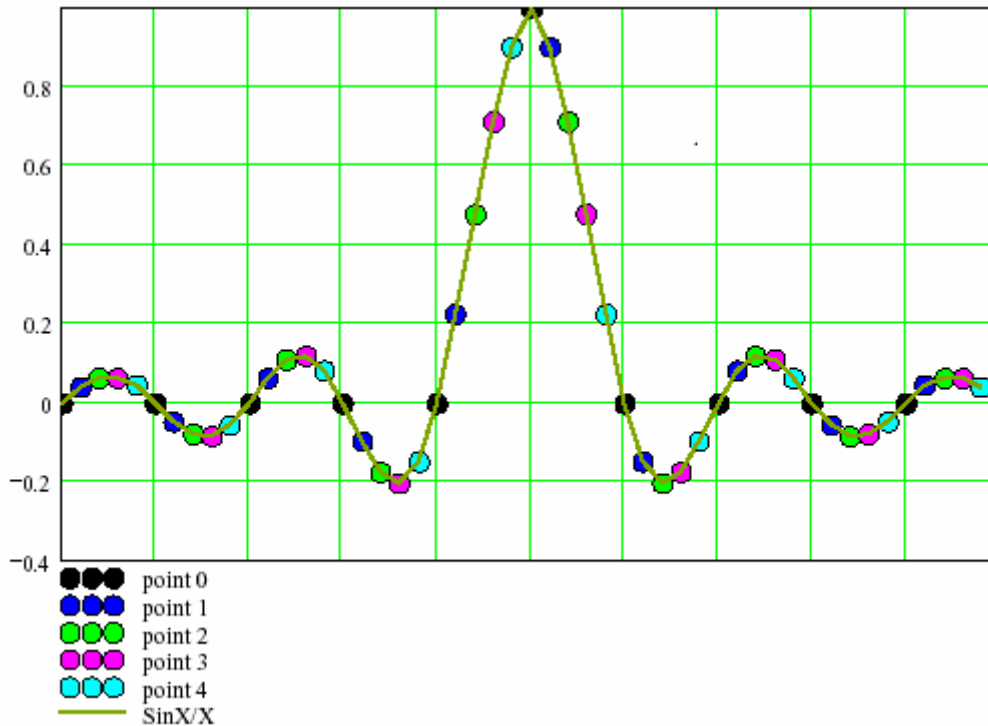


通过考察这些图，可以很容易看出建立滤波系数的模式。

### SinX/X内插

流行的、比较复杂的内插形式称为SinX/X (也称为Sync或简称为SinX内插)。SinX内插的名字来

自于卷积使用的窗口函数众所周知的形状。与线性内插的窄尖三角不同， $\text{SinX}$ 内插窗口在理论上是一个从未结束的减幅正弦波。



[图示内容: ]

point 0: 点0  
 point 1: 点1  
 point 2: 点2  
 point 3: 点3  
 point 4: 点4

这个窗口形状源自一个重要的假设，即在原始波形采样中遵循内奎斯特标准。换句话说，它假设采样的模拟波形中的所有频率成分都位于波形采样的采样率一半以下，这种假设是合理的。在进行这一假设，并对这一假设的频谱进行反向傅立叶变换时，可以得到这个众所周知的函数。

一般来说，这个假设是可以做出的最好的假设，但我们将看到，这并非总是正确的假设。结果， $\text{SinX}$ 内插实际上是最有效的内插方法。通过考察内奎斯特标准的意义，可以了解这一点。内奎斯特声称，在信号的所有频率成分低于采样率的一半时，可以从采样的点中全面确定连续的模拟信号。 $\text{SinX}$ 内插是获得连续模拟信号的技术。

$\text{SinX}$ 内插受到某些数学技术和实用技术的影响，使得这种方法不可能完美无缺。首先， $\text{Sync}$ 函数无穷大，必须在截短误差低到可以接受的水平的点上截短这个函数。这是因为真正带宽受限的信号必须有无穷大的长度，意味着必须一直知道所有样点。事实证明，离内插点越来越远的点的影响会迅速下降，截短提供了高度可接受的结果。另一个缺点是在被采样的系统中，由于DSO结构(如通道复用)产生的噪声和假信号会混合到信号中，导致超出内奎斯特极限的噪声和失真。其导致的误差可以保持在可以接受的较低水平上。

什么时候适合使用内插

在纯数学运算中，这两种内插方法都是无效的。例如，线性内插要求使用直线把波形样点联结起来，仅仅带宽限制一项，就使这在技术上是不可可能的。如前所述，SinX内插只在满足内奎斯特标准时才有效，不仅如此，波形还需要无限长。

可以说，内插在很大程度上是有效的。如果您不能适应这种概念，那么应考虑数字示波器的用途是用来查看、分析、测量及判断模拟信号。内插的有效性本身与模拟波形只能使用不理想数字表示的概念有关。我们知道，根据带宽、采样率、信号保真度等指标，我们可以在数字示波器中对模拟波形作出较好的假设，因此我们也可以说，内插是整体上一种很好的方法。

在使用内插时，最重要的两件事是：

- 怎样设置DSO进行采集，以便内插所需的假设尽可能有效。
- 在不同环境下内插方法的有效程度。

可以毫不夸张地说，在正确有效地使用DSO时，必需了解这两件事，这是不能避免的。

### 设置DSO，加强SinX内插的有效性

在采样率与带宽之比提高时，所有内插方法的有效性会提高。内插会随着采样率的提高而改善。它适用于某些经验法则。只有在采样率与最高频率成分之比不低于10:1时，线性内插才能很好地运行。只有这一比率大于2:1 - 3:1时，SinX内插才能很好地运行，SinX内插在4:1时通常会接近于理想状态。

以力科WaveMaster 8620A为例，SinX内插在20 GS/s的最高通道采样率时几乎可以达到理想状态。这是因为示波器的带宽为6 GHz，其响应急剧下跌，导致信号在7 GHz以上时大大衰减。由于20 GS/s时的内奎斯特速率是10 GHz，因此它满足了内奎斯特标准，SinX内插高度有效。事实上，示波器的带宽限制保证了内插在20 GS/s时一直有效。

在较低的采样率上，如果想使用SinX内插，那么必须确定输入信号中的最高频率。另一个实用的经验法则是带宽\*上升时间乘数。在力科WaveMaster DSO上，带宽和上升时间的关系是：

$$\text{带宽} \times \text{上升时间} = 0.45$$

这意味着上升时间在90 ps以上的信号的带宽要求要低于5 GHz。尽管带宽点并不是最高频率成分时的点，而是成分下跌到DC成分以下3 dB时的点，但它可以实用地估计频率成分，因此可以估计出内插有效运行要求的采样率。例如，上升时间为150 ps的信号的带宽为3 GHz，使SinX内插在10 GS/s时的运行状况非常好。

### 确定SinX内插的有效性

最好的一条消息是可以确定SinX内插的有效性。不仅可以以定性方式确定其有效性，还可以以定量方式确定其有效性。不仅如此，还可以在最小的傅立叶变换位及没有纸笔或计算机的情况下确定其有效性。您所需的只是示波器和一个重复信号。

示波器非常简便，只有在特定示波器上才能进行分析，这是因为许多不同厂商制造的示波器之间存在许多特殊差异，测试只能提供示波器专用结果。

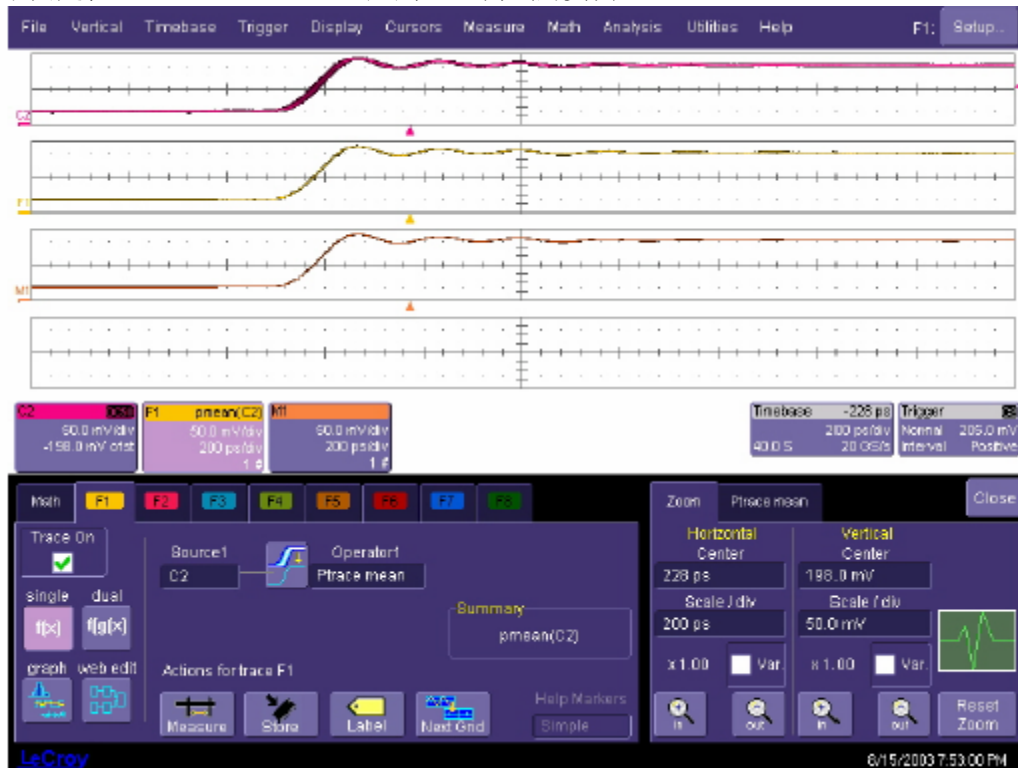
重复波形可能不太容易，对实时DSO，通常使用重复波形分析波形随时间变化的特点，但通常可以找到某种途径，例如，如果您只有一个随机数据码型，那么试着排列输入信号，以便在某个码型上重复触发采集，或试着使系统生成一个重复的恒定码型。为考察内插的有效性，只需

要重复的波形。

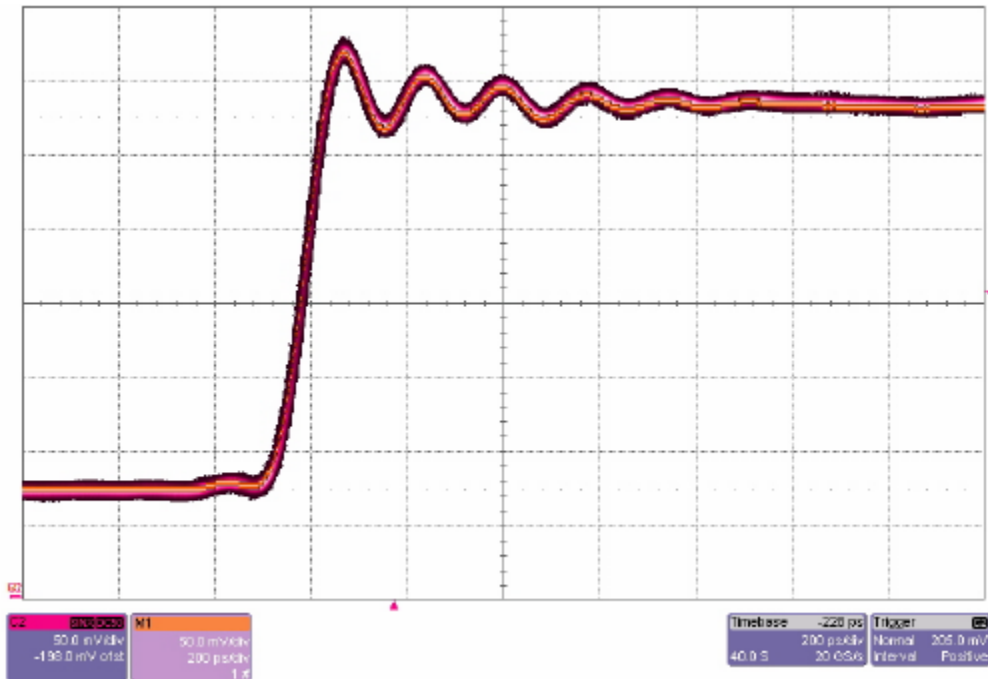
简单地设置示波器，重复触发波形，建立波形的余辉地图，保证波形是重复的。在这一步时一定要关闭内插。如果波形是重复的，它将建立一张很紧的余辉地图。然后，在确定了重复性之后，您需要高效的采样率，作为参考给出波形。大多数高端DSO提供了一种等效时间模式(力科示波器上称为RIS)，可以使用这种模式采集参考曲线。力科DSO还提供了一种处理函数，称为余辉曲线中间值，它从余辉地图中提取中间波形。保存参考波形，以备以后比较。如果不能确定怎样保存参考波形，可以打印余辉视图，以进行比较。

然后启动SinX内插，重复触发波形，建立一个新的余辉地图。测试标准非常简单，新余辉地图与参考波形(或原来的余辉地图)匹配的程度决定着内插方法的有效程度。

下面是在WaveMaster 8620A上应用这一测试的实例：



这张图片说明了在WaveMaster示波器中怎样测试SinX内插的有效性。在这种情况下，它把重复的信号应用到通道2，启动余辉，使SinX内插失效。F1定义为通道2的余辉曲线中间值。随着时间推移，余辉曲线被填充，Ptrace中间值函数生成输入模拟波形的清楚图片。F1保存到存储器M1中，成为参考曲线。



M1留在屏幕上作为参考，F1关闭，通道2上启动SinX内插。示波器重复触发，生成重复采集的波形及内插样点的新余辉曲线。由于新余辉地图在本质上是参考源的确切复现(几乎看不到，位于余辉曲线的中心)，测试结果表明，在这些情况下，适合使用SinX内插。同时，由于应用的边沿非常快，可以得出结论，在以20 GS/s最大采样率运行时，WaveMaster 8620A将一直提供适当的SinX内插，而不管应用的输入信号是什么。

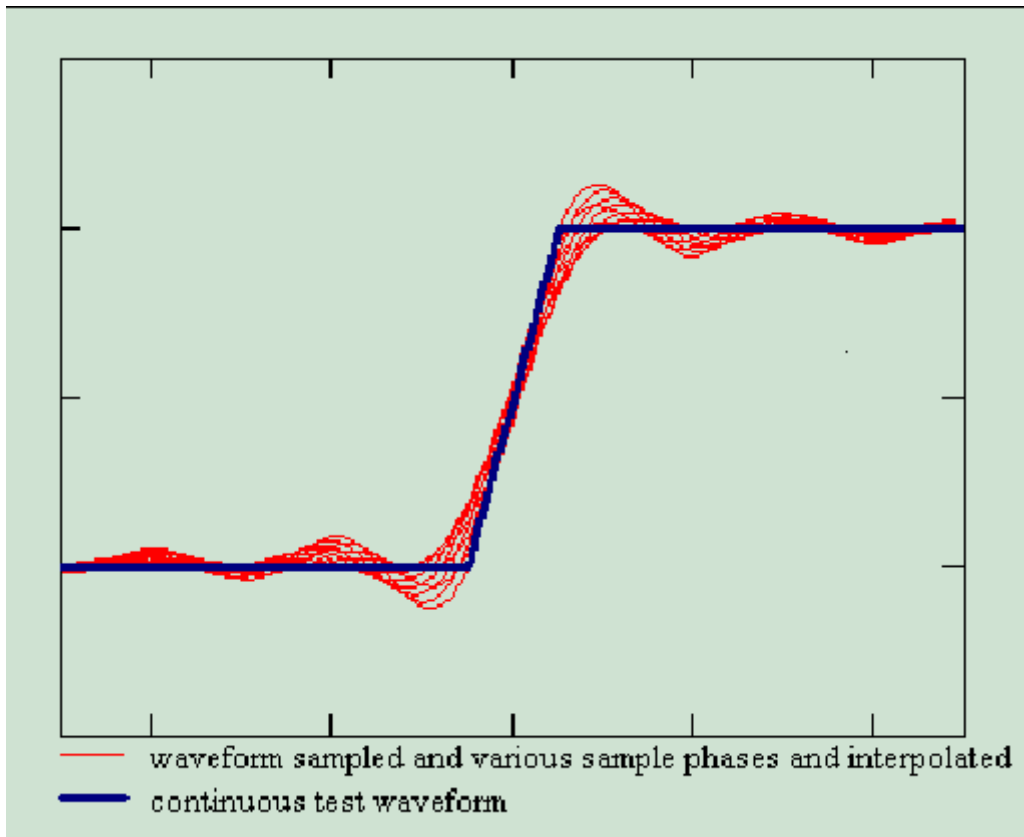
### 为什么要做这种简单的测试工作？

如果认真考察一下在DSO重复触发重复信号时采集的样点，您将看到采样相位变化。采样相位是实际采样点距触发位置的变化。

某个采集的采样相位取决于触发时间与内部示波器采样时钟之间的关系。由于输入波形和示波器采样时钟不相关，除非常特殊情况下，否则采样相位实际上是随机的。如果想绘制从触发到第一个样点之间的时间的直方图，您会发现它在0个采样周期与1个采样周期之间构成了均匀分布。

由于采样周期是随机的，因此重复触发余辉中的波形将导致示波器在测量期间对波形中所有可能的位置采样。只要填充余辉曲线的点是实际样点，那么示波器将生成实际模拟波形随时间变化的图片。我们以此为参考。

对每次采集提供的样点，示波器把内插的点放在实际模拟波形上的能力决定着内插的有效性。换句话说，在任何给定的采集上，内插的点应落在实际模拟波形上，而不管采样相位如何。



这是使用MathCAD电子表格的应用的测试图片。连续波形的线性度与特定设备有关，上升沿跳变时间为100 ps，采样率为10 GS/s。它以10个不同的采样相位采样连续波形，通过SinX内插把连续波形扩大10倍。重叠的曲线显示了预计的劣化。通过使用此类技术，可以以数学方式确定内插的效果。此外，可以确定这一环境中的测量效应。例如，通过绘制50%交叉时间的直方图，可以以量化方式确定抖动劣化。

### 部分简单的试验

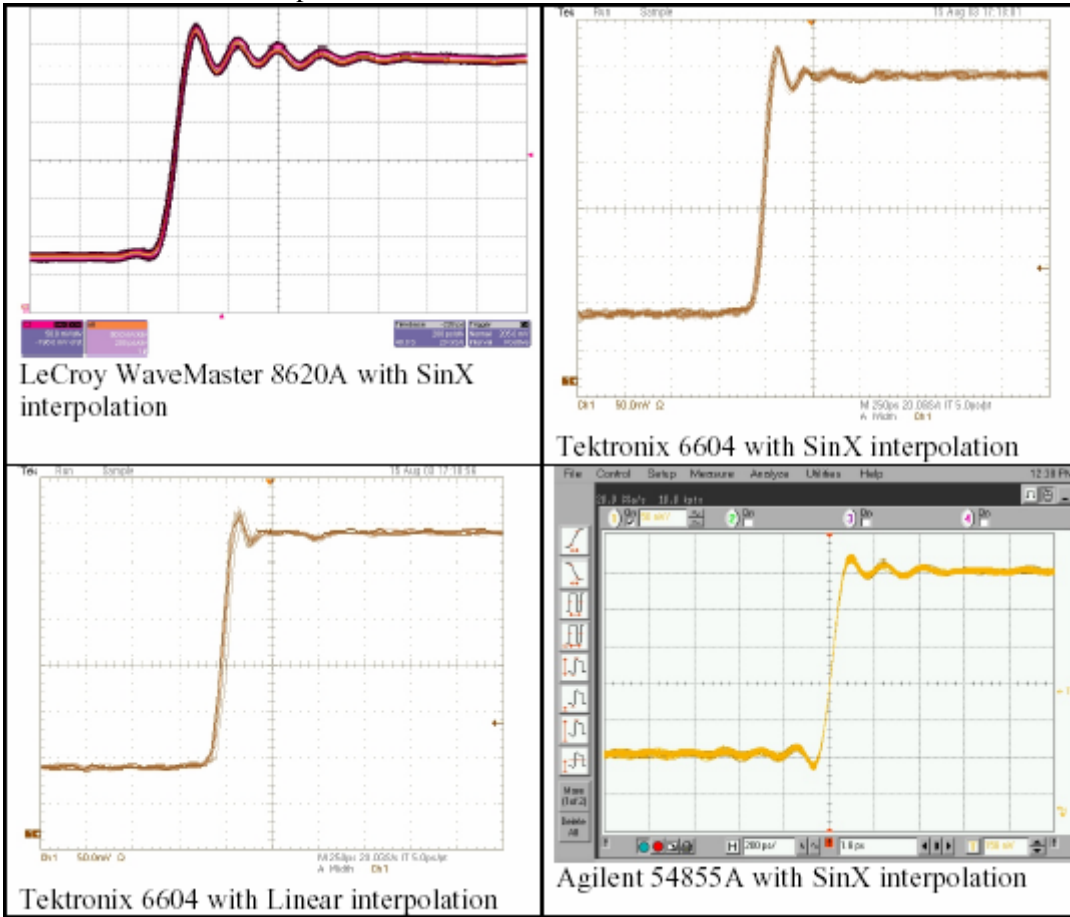
我们使用三种竞争的DSO进行简单的试验，其分别是力科Wavemaster 8620A、泰克6604和安捷伦54855A。这三种示波器的带宽指标都是6 GHz，最大采样率是20 GS/s。我们使用六种不同的信号和采样率组合，说明SinX内插算法的性能。

试验	预期
以20 GS/s采样率应用31 ps步长	所有示波器应演示良好的SinX内插，在最大采样率上实现最快的上升时间边沿
以10 GS/s采样率应用31 ps	在这个步长的频率成分超过5 GHz内奎斯特频率时，预计SinX内插会劣化
以10 GS/s采样率应用3 GHz正弦曲线	所有示波器应演示合理的SinX内插，因为3 GHz完全低于5 GHz内奎斯特速率
以10 GS/s采样率应用4 GHz正弦曲线	预计SinX内插将劣化，因为4 GHz接近5 GHz内奎斯特速率
以10 GS/s采样率应用6 GHz正弦曲线	这是一种荒谬的情况，只是说明在没有满足内奎斯特标准时会发生什么情况
以20 GS/s采样率应用6 GHz正弦曲线	所有示波器应演示良好的SinX内插，其中正弦

波位于最大采样率的带宽频率上

**试验:**

以20 GS/s采样率应用31 ps脉冲



力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插    泰克6604，使用SinX内插  
 泰克6604，使用线性内插                      安捷伦54855A，使用SinX内插

**备注:**

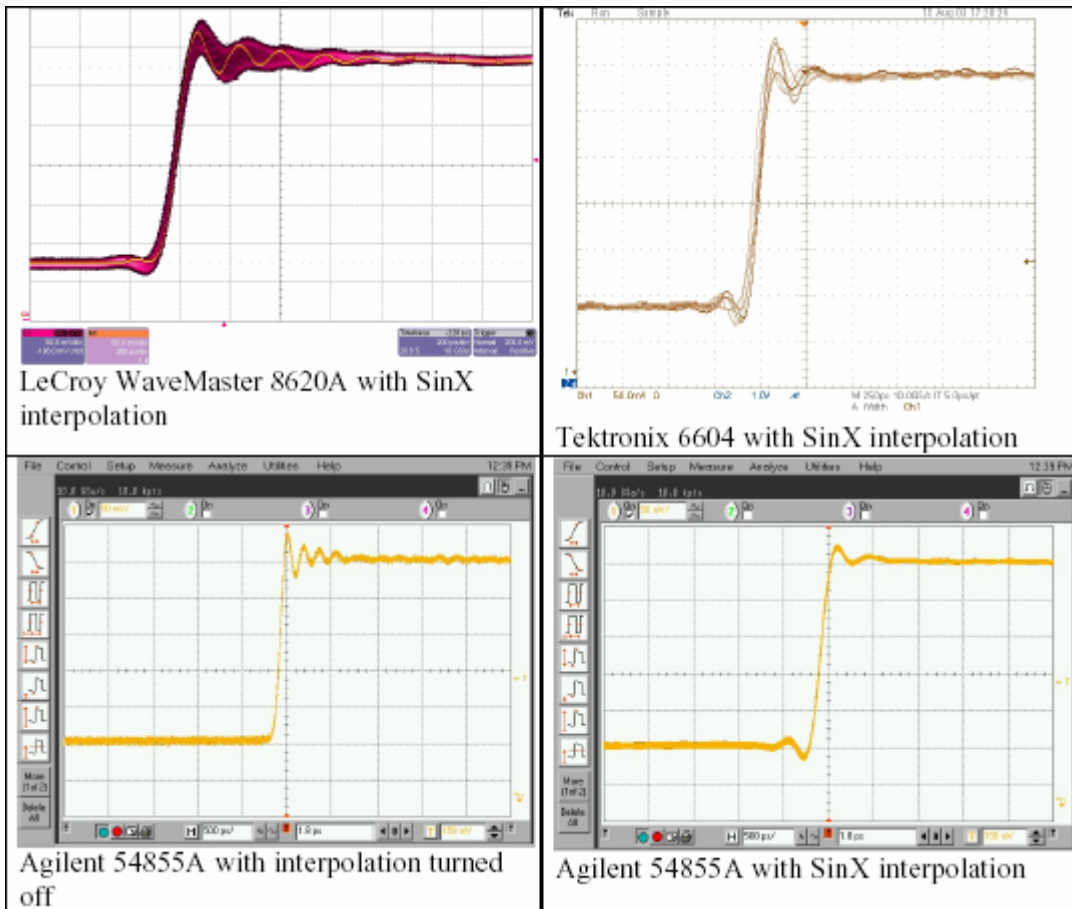
所有示波器在使用SinX内插时都展现很紧的余辉曲线，与没有内插时生成的余辉曲线匹配。由于31 ps边沿提供了示波器看到的任何边沿中最大的频率成分，这一结果表明对所有示波器，SinX内插在20 GS/s的最大采样率时最有效，而不管应用的信号如何。

安捷伦示波器在下冲中存在一定的信号保真度问题，与是否启动SinX内插无关。

图中显示了泰克示波器的线性内插，展现了部分劣化。泰克示波器默认采用SinX内插，高速信号不应使用线性内插。

**试验:**

以10 GS/s采样率应用31 ps脉冲



力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插      泰克6604，使用SinX内插  
 安捷伦54855A，关闭内插                      安捷伦54855A，使用SinX内插

**备注：**

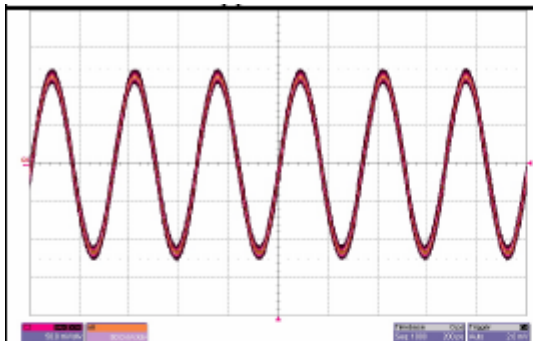
由于边沿的频率成分超过5 GHz的内奎斯特速率，力科和泰克示波器在SinX内插中展现出预计的劣化。

应该指出的是，在力科示波器上，在默认情况下会使SinX内插失效，因此用户不得明确启动SinX，才能获得这个结果。在泰克示波器上，这个行为是默认的行为。在泰克示波器上，避免这一行为的唯一途径是在显示设置中选择"intensified samples"。

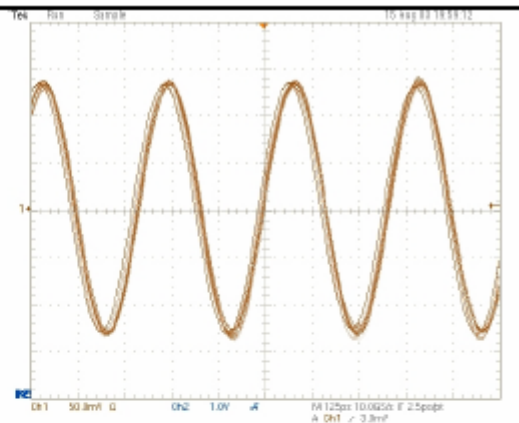
安捷伦示波器显示了令人混淆的结果。首先，10 GS响应与前面显示的20 GS响应完全不同。其次，内插SinX的响应显示了另一个完全不同的响应。在内插方面，令人惊奇的是，安捷伦示波器在启动SinX内插时可以生成很紧的余辉地图，而不管边沿是否包含超过5 GHz内奎斯特速率的频率成分。

**试验：**

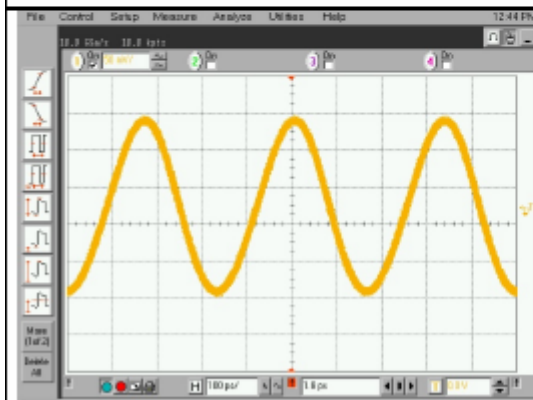
以10 GS/s采样率应用3 GHz正弦曲线



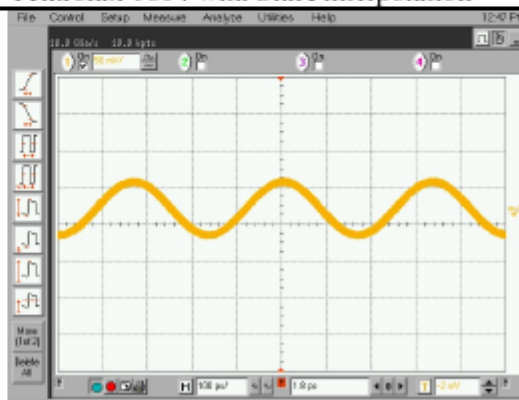
LeCroy WaveMaster 8620A with SinX interpolation



Tektronix 6604 with SinX interpolation



Agilent 54855A with interpolation turned off



Agilent 54855A with SinX interpolation

力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插      泰克6604，使用SinX内插  
 安捷伦54855A，关闭内插                      安捷伦54855A，使用SinX内插

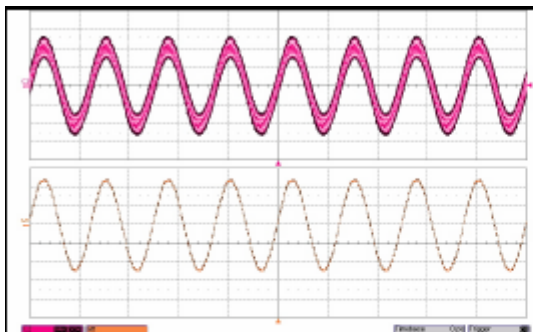
**备注：**

力科和泰克示波器没有展现预计的劣化，因为3 GHz正弦曲线远远低于5 GHz的内奎斯特速率。尽管泰克示波器在余辉曲线中显示了多条曲线，这被视为由于触发性能差而导致的，而不是内插导致的。

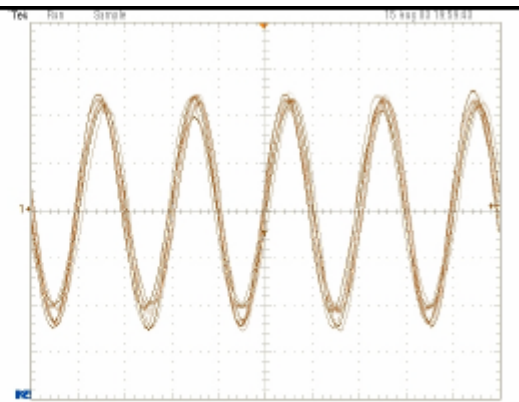
安捷伦示波器演示了完全不正确的操作，演示了错误应用内插。3 GHz波形大大衰减，应视为错误结果。解决方案是避免SinX内插，或一直以20 GS/s运行这一示波器。

**试验：**

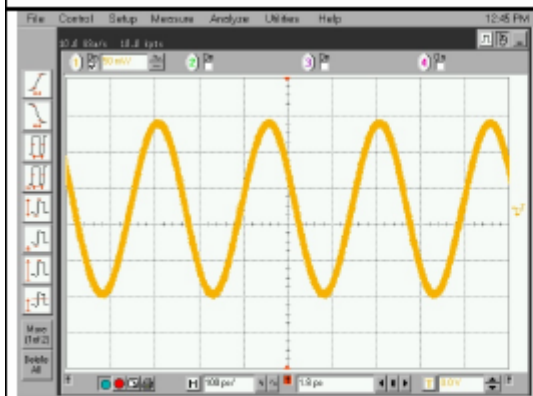
以10 GS/s采样率应用4 GHz正弦曲线



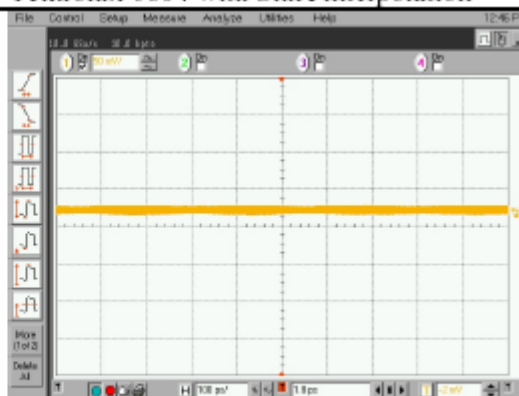
LeCroy WaveMaster 8620A with SinX interpolation



Tektronix 6604 with SinX interpolation



Agilent 54855A with interpolation turned off



Agilent 54855A with SinX interpolation

力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插      泰克6604，使用SinX内插  
 安捷伦54855A，关闭内插                      安捷伦54855A，使用SinX内插

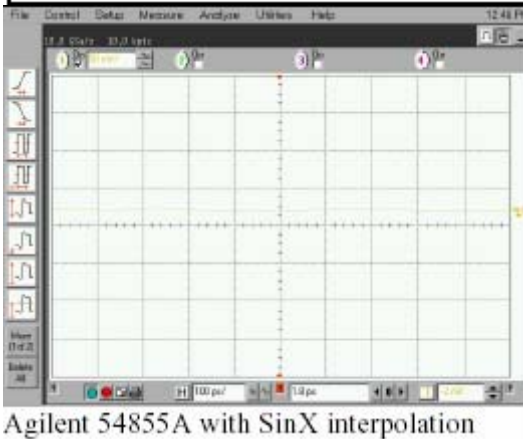
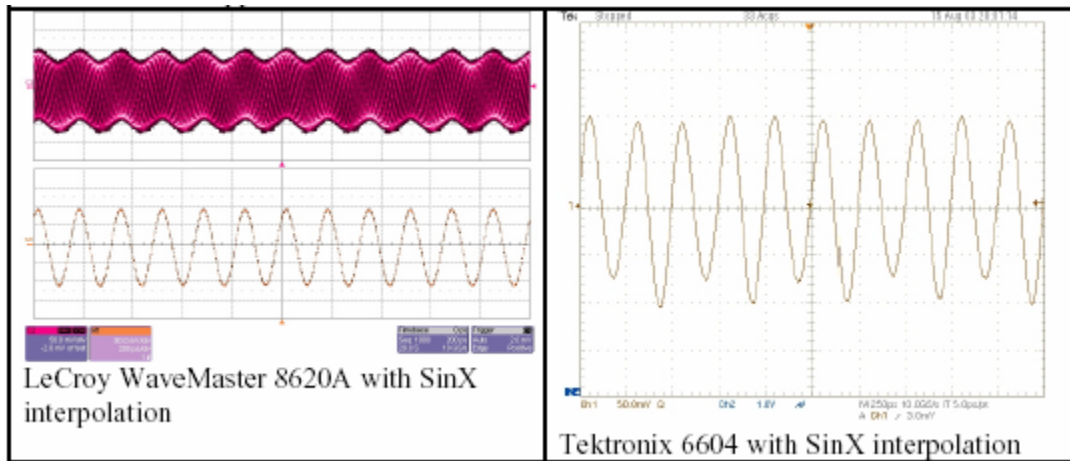
**备注：**

力科和泰克示波器展现出预计的可预测的劣化，因为4 GHz正弦曲线接近5 GHz的内奎斯特速率。在这个频率上，泰克示波器很难生成稳定的触发。

安捷伦示波器演示了SinX算法完全失败。内插完全破坏了4 GHz波形。解决方案是避免SinX内插，或一直以20 GS/s运行这一示波器。

**试验：**

以10 GS/s采样率应用6 GHz正弦曲线



力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插 泰克6604，使用SinX内插

**备注：**

这一试验不符合逻辑，因为6 GHz超过5 GHz的内奎斯特速率，但我们使用这一试验说明在SinX内插中止时会发生的情况。

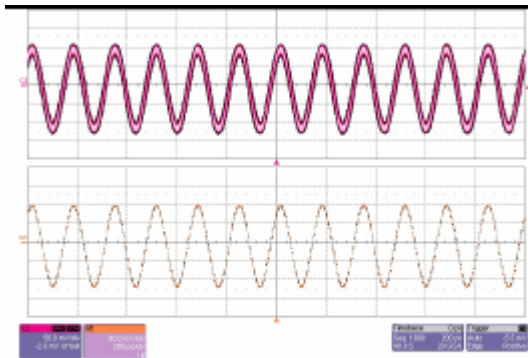
只有力科和安捷伦示波器能够触发这一波形，但有一定难度，泰克示波器会自动触发。

力科和泰克示波器在算法中展现了可预测的分类结果。安捷伦示波器只能得到一条直线。这不是预计的行为。这是一种荒谬的情况，不论如何都应避免这种情况。

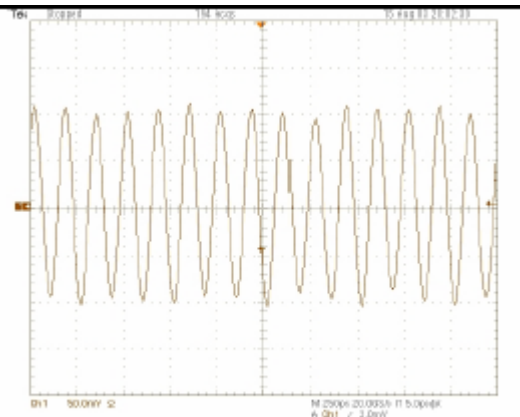
安捷伦54855A，使用SinX内插

**试验：**

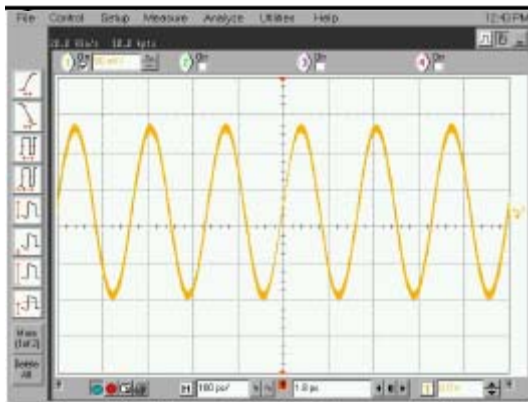
20 GS/s时的6 GHz正弦曲线



LeCroy WaveMaster 8620A with SinX interpolation



Tektronix 6604 with SinX interpolation



Agilent 54855A with SinX interpolation

力科WaveMaster 8620A，使用SinX内插 泰克6604，使用SinX内插

### 备注：

只有力科和安捷伦示波器能够触发这一波形，但有一定难度，泰克示波器会自动触发。

由于高采样率，力科和安捷伦示波器展现了预计的完美SinX内插性能。泰克示波器在结果中显示了部分幅度调制，但这没有被视为内插结果，而是通道复用性能。如果没有生成稳定触发，很难确定这一劣化的来源。

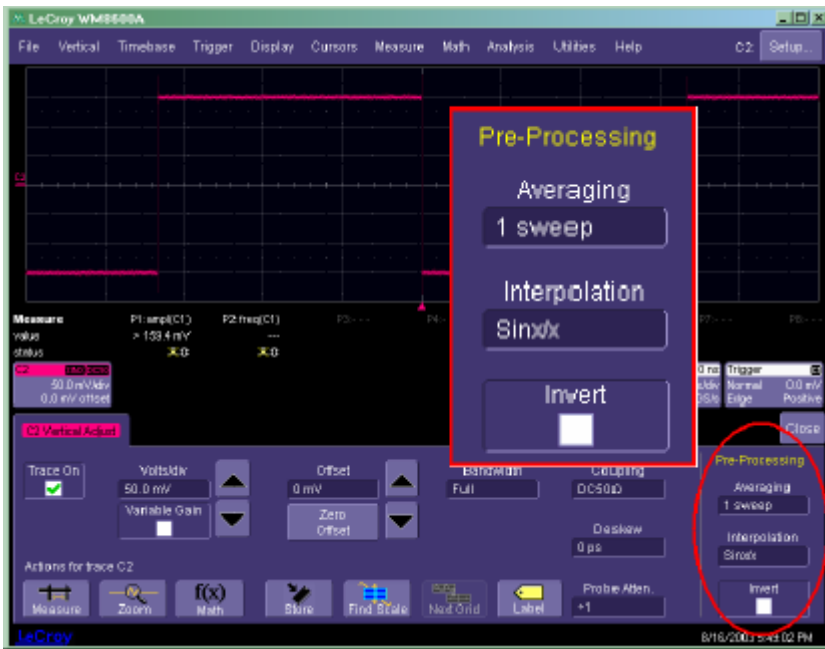
安捷伦54855A，使用SinX内插

### 高端DSO中的内插实现方案差异

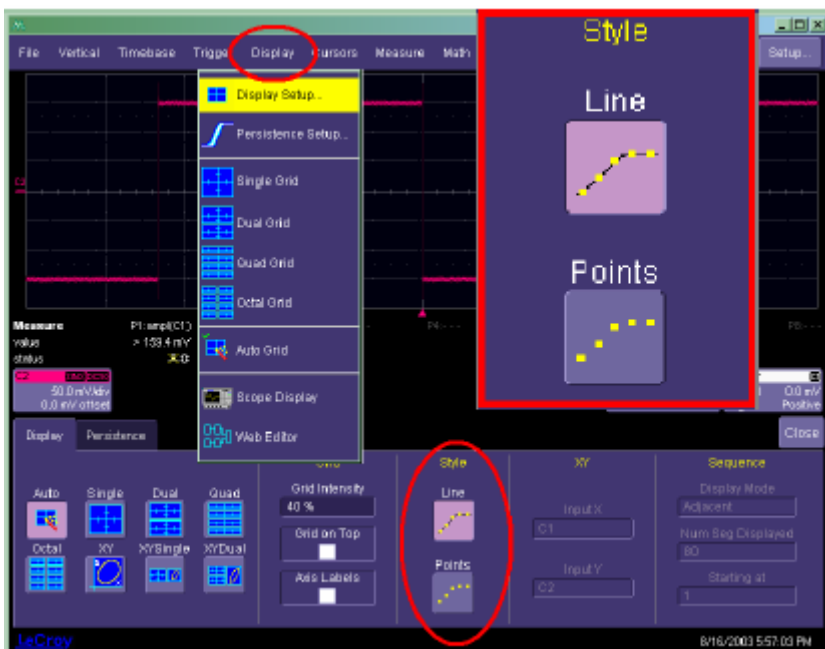
我们设计了上一节中应用的试验，演示了内插有效性与信号频率成分和示波器采样率相关，但负面效应进一步演示了内插算法实现方案中的重要差异。

示波器之间的其它重要差异是内插规则。

所有力科DSO都提供了SinX内插模式。在力科全系列X-Stream DSO上，可以通过通道设置菜单控制内插，每条通道支持不同的内插选择。在以前的力科示波器型号上，则通过演算曲线提供SinX内插。



WaveMaster在通道设置菜单中提供了两种内插选择：**Linear**或**SinX**。这种描述的用词实际上是不恰当的，因为选择线性内插实际上是没有内插。选择**SinX**内插会导致示波器在采集的每个实际样点之间生成9个额外的点，从而使采样率提高10倍。在默认状态下会选择线性(或无)内插。力科的策略是在不知道输入信号时，在默认状态下应关闭内插，示波器应默认只使用采集的波形点。



显示画面可以设置成只显示点或直线。在选择点时，将只显示波形点，包括任何内插的点。在选择直线时，会在每个波形点之间画一条直线，仅包括显示画面上内插的点。

下表详细介绍了在WaveMaster上怎样应用内插及怎样显示波形的规则。

		内插	
	线性(关闭)		SinX

显示样式	点	波形只包含采集的点。 屏幕上只显示波形点。	波形在每个样点之间包含9个额外的内插值。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点。
	直线	波形只包含采集的点。 屏幕上显示波形,使用直线连接各个点。	波形在每个样点之间包含9个额外的内插值。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点,其中使用直线连接各个点。

### 力科WaveMaster的内插行为

安捷伦和泰克的内插功能明显不同。

泰克示波器提供了两种波形内插选项：**Linear**和**SinX**，但与力科实现方案不同，线性内插会实际内插额外的点。在默认情况下会启动**SinX**内插。在波形生成中是否实际使用内插取决于时基设置和请求的点数。基本上，泰克把采集时间周期除以采样周期，如果这个数值小于请求的点数，那么它会内插，生成请求的数量。不管波形中是否内插点，泰克示波器似乎都在内部测量中使用**SinX**内插。泰克提供三种显示样式：点、矢量(直线)和放大的样点。在波形生成中，唯一使内插失效的方式是使用放大样点显示模式。

安捷伦允许关闭或打开**SinX**内插，允许在显示模式中使用点或直线。与泰克一样，安捷伦的判断基于是否内插时基设置，在低于500 ps/div的时间/格设置时内插最多16个额外的点，在高于50 ns/div时不内插额外的点。如果显示样式选择直线，那么将在各点之间划直线，甚至包括内插的点。这与力科实现方案类似，但这些直线也出现在余辉曲线中，力科从不会把直线放在余辉曲线中。

		内插	
		线性	SinX
显示样式	点	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将线性内插额外的点。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点。	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将SinX内插额外的点。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点。
	直线	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将线性内插额外的点。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点,并使用直线连接各个点。	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将SinX内插额外的点。 屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点,其中使用直线连接各个点。

	<b>放大的点</b>	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将增加额外的点,但插入的点是假样点。  屏幕上只显示实际采集的波形点。	波形只包含请求的点数(最低500点)。如果采集的数量(TDIV乘以10,再除以采样率)低于这个值,那么将增加额外的点,但插入的点是假样点。  屏幕上只显示实际采集的波形点。
--	-------------	--	--

**泰克6604内插行为**

		内插	
		线性	SinX
显示样式	点	波形只包含采集的点。  屏幕上及余辉曲线中只显示波形点。	在time/div低于500 ps/div时,波形包含16个额外的点,在time/div高于50 ns/div时,波形不包含额外的点。  屏幕上和余辉曲线中只显示波形点,其中包括内插的点。
	直线	波形只包含采集的点。  屏幕上显示波形,并使用直线连接各个点。  余辉曲线中显示矢量。	在time/div低于500 ps/div时,波形包含16个额外的点,在time/div高于50 ns/div时,波形不包含额外的点。  屏幕上只显示波形点,其中包括内插的点。  余辉曲线中显示波形点之间的矢量,包括内插的点。

**安捷伦54855A内插行为**

下表比较了示波器的行为:

	力科WaveMaster	泰克6604	安捷伦54855A
如果关闭内插...	不内插额外的点	不能关闭	不内插额外的点
如果打开内插,内插方法是...	SinX	线性(由于10:1过采样率要求,其用处非常有限)或SinX(用户可以配置)	SinX
如果打开内插,内插的额外点数是...	每个样点之间9个额外的样点	如果采集的点数(TDIV乘以10,再除以采样周期)小于请求的点数(最低500点),那么内插额外的点数,否则不执行内插	在time/div小于500 ps/div时16个额外的样点,到大于50 ns/div时不内插样点
如果打开内插,新的有效采样率是...	采集波形的采样率的10倍	约为TDIV乘以10再除以请求的点数	在time/div小于500 ps/div时16 x 采样率,到大于50 ns/div时采样率不变

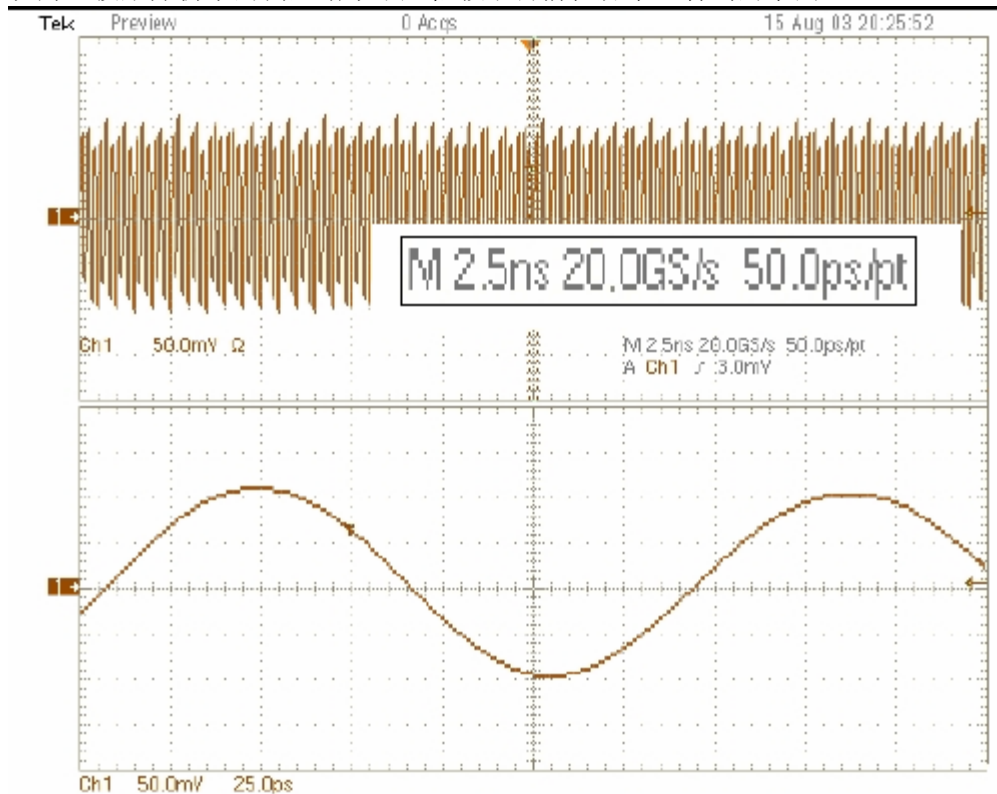
内插可以配置...	对每条通道可以单独配置内插	在全局范围内配置所有通道	在全局范围内配置所有通道
如果关闭内插,进行测量时...	一般会在采集的样点之间进行线性内插 <sup>1</sup>	一直使用SinX内插进行测量	一般会在采集的样点之间进行线性内插
如果打开内插,进行测量时...	一般会在采集的样点和内插的样点之间进行线性内插		一般会在采集的样点和内插的样点之间进行线性内插

现在, 读者应该很想知道不同操作的原因。我猜想部分原因可能是示波器之间的硬件限制。此外, 由于内插对处理不敏感, 因此有人试图在大的波形中降低内插令更新速率下降的影响, 这进一步提高了参与竞争的示波器的复杂程度。

注1 部分专用测量采用线性内插之外的内插技术

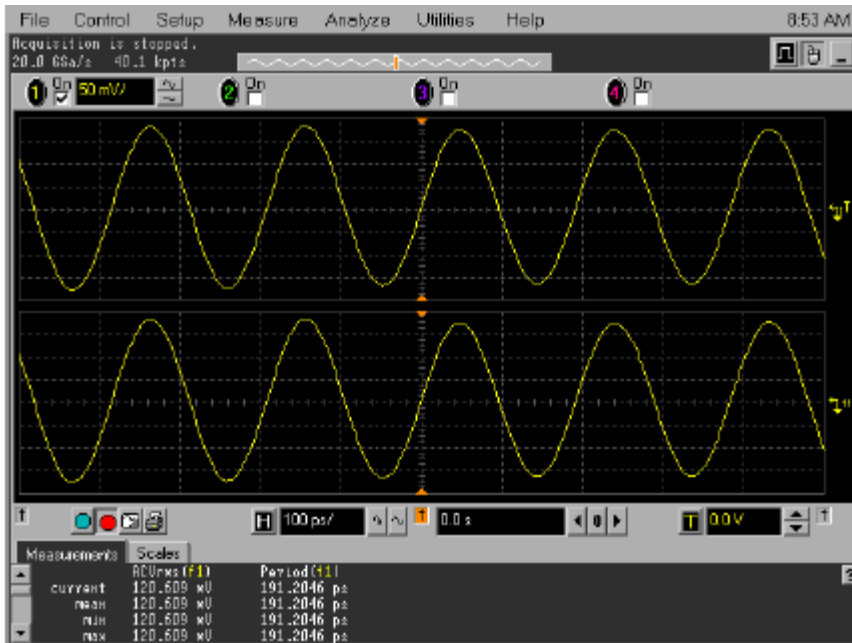
在这方面, 力科WaveMaster之所以能够实现简单操作, 是因为其X-Stream™架构是为异常高效地处理大量的数据设计的。WaveMaster有效使用2.53 GHz工作频率的Pentium 4处理器, 这是示波器中使用的最强大的处理引擎。

功能差异的另一个原因源自力科和其它示波器厂商的基本理念差异。安捷伦和泰克主要根据time/div设置改变内插行为。在采集时间周期变大时, 这两种竞争的示波器都抵制内插。换句话说, 在采样时间周期变大时, 内插改善的采样率会下降。由于较大的time/div设置一般会降低用户获得的波形特点信息, 因此除非使用放大, 否则这一行为传达的基本信息是: *除非要查看精细的特性, 否则波形采集中不需要更高的分辨率和精度。*力科严肃地看待这类仪器行为。我们认为, 波形分析中的测量结果不应依赖于目前在屏幕上看到的東西。

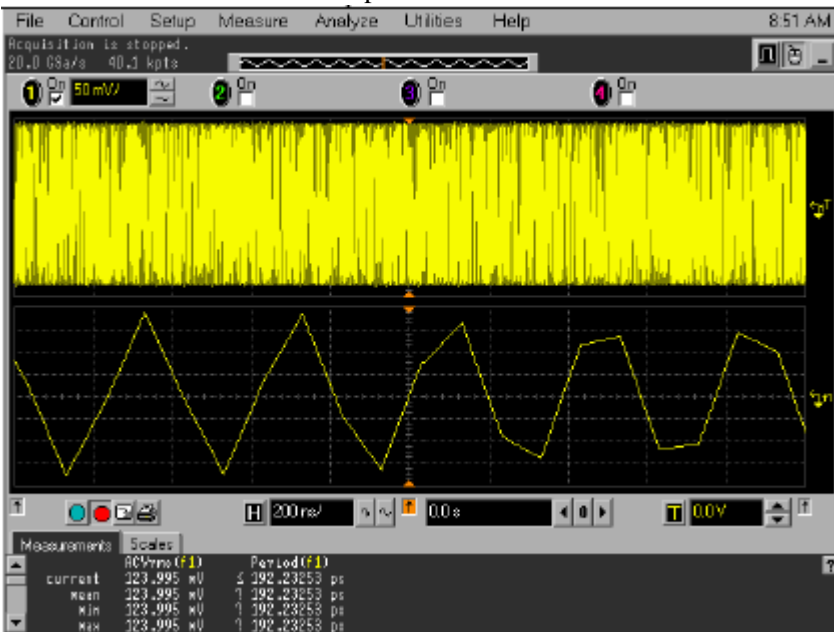


这里, time/div设置成2.5 ns/div, 点数设置成500。泰克示波器确定不需要使用内插。但如果放大波形, 它会在很大程度上内插放大曲线。

显然，泰克示波器对内部测量采用SinX内插，而不管使用的示波器设置是什么。



安捷伦示波器，20 GS/s、100 ps/div、启动SinX内插。正弦波看上去很好，测量精度很高。



时基设置成200 ns/div，以采集大量的样点。由于采集时间较长，屏幕上的正弦波视图是模糊的。在这种设置下，测量中显示了?，表示示波器不能进行正确测量。只有设置缩放演算曲线显示了问题来源：示波器已经停止内插。示波器确定在较长的时间采集中不需要内插。

### 小结

在使用DSO时，波形点内插是一种重要实用的算法。可以采用两种内插算法，即SinX内插和实用程度较低的线性内插。

---

在采样率是最高频率信号成分的10倍时，线性内插的效果非常好。在采样率至少是最高频率成分的三倍时，SinX内插的效果非常好。

有一种简单的方法，确定采用的内插策略的有效性。在不同示波器厂商之间，示波器的内插性能差异很大。在各种示波器运行条件下，示波器在什么时候执行内插及内插效果有着很大的差异。

力科WaveMaster示波器提供了最简单、最一致的内插性能，SinX内插使采样率有效改善了10倍。

力科WaveMaster DSO体现了示波器用户应明确指定SinX内插的原则，在默认状态下，SinX内插是关闭的，在指定SinX内插时，示波器会在实际样点之间一直内插9个额外的样点，而不管其它示波器设置如何，如time/div。