

# 采样率对示波器带宽的影响

安捷伦科技公司 Phil Stearns

在针对某个测量需求而选择示波器时，我们首先考虑的第一件事就是需要多大的带宽才能精确地重建我们的信号。毕竟，示波器的带宽能够告诉我们将保持多大的频谱频率以及能够兼容的最大信号跳变速度。

我们在指定某台示波器时都要指出它的额定带宽，例如“500MHz XYZ型”，有些示波器甚至在其型号中内嵌了带宽指标。但是，这种“标题式”的指标仅仅给出了示波器前端电路所容许的最大带宽。示波器的有效带宽，以及你所能捕捉、存储和显示的信号的最大频率分量取决于它的采样速率，而采样速率又受限于其采样存储器的深度。

简单分析带宽、采样速率和存储器深度三者之间的关系，有助于我们掌握选择示波器的权衡方法以及如何减轻它们对带宽的影响，从而实现更可信的测量。

## 快速回顾奈奎斯特定理

我们熟悉的奈奎斯特-香农定理指出，信号正确重构的条件是：采样率至少是信号最高频率的两倍。如果我们假设所有的采样在时间上都是等间隔的，那么所有示波器的采样速率必须保持为其额定带宽的两倍，以避免被捕捉信号

的带宽下降。但是，奈奎斯特定理也在理论上假设了一个滤波器，称为“砖墙式”滤波器，它不仅能够通过所有低于带宽截止频率界限的频率分量，而且消除了所有高于此带宽的频率分量（如图1所示）。具有硬件/软件砖墙式滤波功能的高性能滤波器可能能够兼容低达2.5倍带宽的采样速率。但是对于主流示波器，这种滤波器通常是不现实的，也是不需要的。

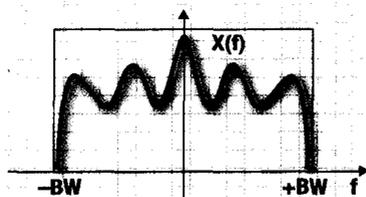


图1 在理想的砖墙式滤波器下，采样速率逼近奈奎斯特-香农采样定理的2倍以上的理论限制

在通常的主流示波器中，其滤波器的衰减并不像这样迅速（如图2所示）。这些滤波器的实现方式都比较经济，它

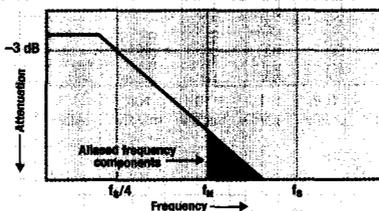


图2 实际的示波器输入滤波器特征采用了更加保守的过采样速率，一般为4倍

们的时域响应都是比较容易预测的。所需的权衡之处在于，必须采用更加保守的采样速率，过采样带宽要达到4倍以上。只要我们保持4倍的过采样速率，那么就可以保证示波器的额定带宽。但是，任何会引起采样速率下降的因素都会导致低于额定带宽频率的失真问题。

## 存储器的影响

存储器容量与采样速率是两个相互影响的指标。因为在任何扫描时间 ( $t/div$ ) 的设置下，示波器的显示窗口大小都是固定的，所以没有一种能够让时间和存储容量同时达到最大化的设置。但是，更重要的是要保持数据采集（采样）的速率，即示波器的带宽，以便能够利用所有的存储器。

通过简单的计算即可得到填充显示窗口所需的数据点数量：

每波形点数 = 采样速率  $\times$   $t/div$   $\times$  分区数

例如，某个示波器具有5GS/s的采样速率，10时间分割设置为100ns/div。那么每波形点数等于  $5 \times 10^9$  点/s  $\times$   $100 \times 10^{-9}$ s/div  $\times$  10div，即500点。

只要示波器有足够大的存储容量来填充显示窗口，那么采样速率就可以保持不变。但是，如果保持这样高的采样

速率,那么就会导致数据量超过存储器的最大容量,我们必须降低采样速率,以填充所分配的时间区间。

通过下列图形(如图3所示),我们很容易理解如何降低采样速率以达到较慢的扫描速度。假设现在有两台500MHz带宽的示波器,其中具有较大存储容量的示波器可以在更多的设置下维持较高的采样速率。这说明什么呢?让我们重新进行奈奎斯特分析。

示波器1在500ns/div以上的所有t/div设置下采用最大8倍带宽的过采样速率,在500ns/div点之后采样速率开始下降。但是,直到采样速率低于2GS/s(4倍过采样)时才会引起明显的

失真现象。这出现在1μs/div设置下。这时,采样速率的任何下降都会导致示波器的有效带宽降低。

## 结论

我们从以上的分析中可以得出三个结论:带宽受限于示波器的有效采样速率。在较慢的t/div(扫描时间)速度下采样速率会降低。增大数据采集存储容量可以推迟采样速率开始下降的起始点。

这些结论对示波器的选择与调试方法有哪些影响呢?实际上这取决于你所观察的信号。如果你比较注重信号采样(例如信号上跳沿和瞬态事件),那么很

容易将你的示波器时标设置与你所观察波形的频谱分量匹配起来——快速的条边沿需要快速的扫描速度。如果你需要观察既包含慢事件又包含快事件的复杂信号(例如调制信号或趋势信号),你应该考虑将小存储容量的示波器(低于10万次采样)换成具有较大存储容量的示波器(至少 $1 \times 10^6$ 次采样)。

如果无法改变当前的设备选择,可以将整个分析过程分成几个便于管理的步骤。利用较慢的t/div设置分析较慢的信号趋势,然后切换到较快的扫描时间设置分析高带宽信号事件。如果采用这一方法,可以采用上述计算过程画出示波器的t/div与带宽之间的关系。

对于单发探测(single-shot acquisition)而言,带宽和有效采样速率之间的权衡策略是相同的,但是它的思维模型和有关结论稍微有些不同。在单发探测中,我们希望采样时间尽可能得长(和测量所需的时间一样长),采样的速度尽可能得快。高采样速率对于保持信号保真度,同时放大单个跳变的信号细节是非常重要的。它通过一次采样即可准确测量信号的大事件和微小事件。如果无法保持高采样速率(带宽),那么应该通过单独的采样测量这些事件。

## 结束语

本文的分析有助于读者理解示波器性能的一些重要特征,值得注意的是,这里对带宽、采样速率和存储容量之间关系的分析仍然比较粗略。实际的带宽问题更加复杂,其中有些因素,例如通带平坦度和频率衰减,需要更深入的分析。 EPC

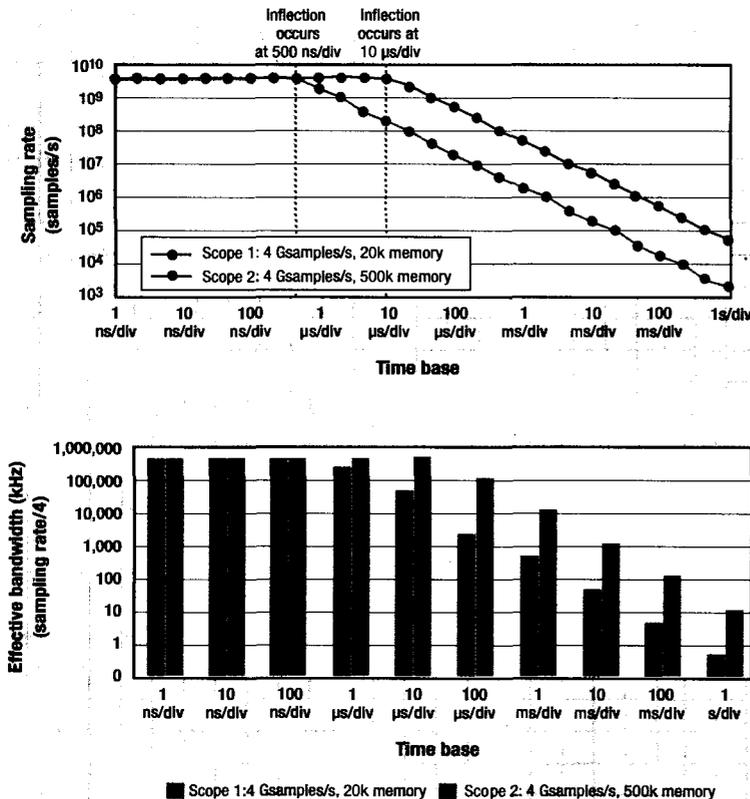


图3 必须降低采样速率以使用足够的显示数据填充存储器(左),采样速率的降低限制了示波器的有效带宽(右)