

# 选择数字化仪/示波器需要考虑的10个方面

发布日期: 八月 18, 2014

## 概览

现代数字存储示波器与1897年德国科学家卡尔·费迪南德·布劳恩发明的阴极射线示波器截然不同。科技的进步不断为示波器提供新的功能，使其可为工程师提供更多帮助，但示波器最重要的变革之一是朝着数字领域的转变，这一转变实现了数字信号处理和波形分析等强大的功能。现在的数字示波器包括高速高分辨率（通常是8位）模数转换器(ADC)、功能明确的控件和显示器以及一个内置处理器来运行常见测量的软件算法。

由于示波器是基于PC的，因此您能够在软件中定义仪器的功能。因此，示波器不仅可以用于一般的测量，同时也可以用于定制测量，甚至还可以用作频谱分析仪、频率计、超声波接收器或其他仪器。凭借其开放的架构和灵活的软件，现代示波器提供了比传统独立式示波器更多的优势。在选择示波器时，需要考虑许多因素才能找到满足您应用需求的示波器。

本文讨论了选择新数字化仪/示波器时应牢记的十大要素。

## 目录

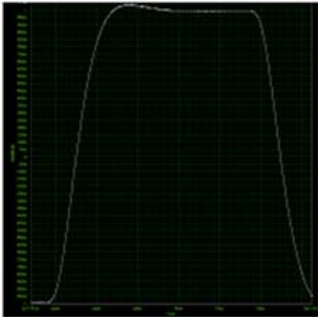
- 1. 带宽
- 2. 采样速率
- 3. 采样模式
- 4. 分辨率和动态范围
- 5. 触发
- 6. 板载内存
- 7. 通道密度
- 8. 多仪器同步
- 9. 信号混合功能
- 10. 软件、分析功能和自定义化
- 11. 下一步

### 1. 带宽

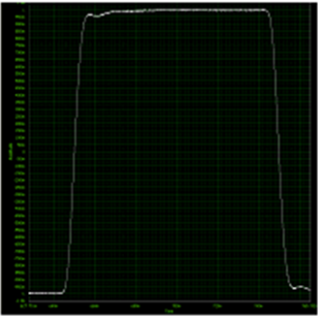
带宽描述的是输入信号能够以最小幅值损失通过模拟前端的频率范围——从探针的针头或测试夹具到ADC的输入端。带宽通常规定为正弦输入信号衰减到其原始幅度的70.7%时的频率，该频率也称为-3dB点。

在一般情况下，建议数字化仪的带宽应至少是信号最高频率分量的两倍。

示波器和数字化仪通常用于测量诸如数字脉冲或其它具有尖锐边缘的信号的时间。这些信号由高频分量组成。为了捕捉信号的真实形状，我们需要使用高带宽的数字化仪。例如，一个10 MHz的方波是由一个10MHz的正弦波及无穷多的谐波组成。为了捕捉这个信号的真实形状，数字化仪的带宽必须足够大才能捕捉其中一些谐波。否则，信号会失真，导致测量不正确。



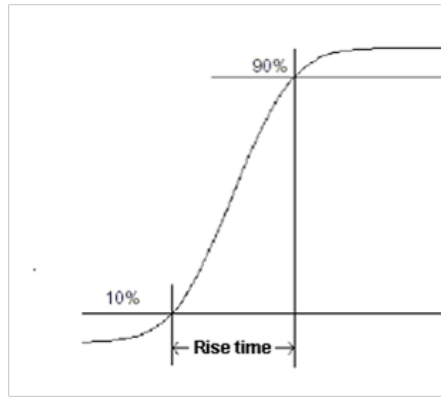
NI PXI- 5152数字化仪的 20 MHz噪声滤波器打开时采集的 5 MHz方波



NI PXI- 5152数字化仪的 带宽设置为300 MHz时采集的5 MHz方波

图1：高带宽数字化仪对于捕获波形的高频分量非常重要

一般来说，可以使用下面的公式来根据上升时间（定义为从信号幅度的10%上升至90%的过渡时间）计算出信号的带宽。



$$\text{Rise Time} = 0.35 / \text{Bandwidth}$$

图2：上升时间定义为信号从幅值的 10%上升到90% 的时间。上升时间与 带宽直接相关，可通 过上面的公式在两者 之间进行换算

理想情况下，数字 化仪的带宽应根据 上述公式计算的信号 带宽的三到五倍。换 句话说，数字化仪的 上升时间应该是信号 上升时间的1/5至 1/3，从而以最小 的误差采集信号。您 可以通过以下公式来 推算出信号的实际带 宽：

$$T_m = \sqrt{T_s^2 + T_d^2}$$

$$T_m = \text{测量的上升时间}, T_s = \text{实际信号上升时间}, T_d = \text{数字化仪的上升时间}$$

## 2. 采样速率

在上一节中，我们介 绍了数字化仪或示波 器的最重要指标之一 ——带宽。然而， 如果采样率不够高的 话，高带宽的性能就 会大打折扣。

带宽描述的是正弦 波能够以最小衰减进 行数字化的最高频 率，而采样率就仅仅 是数字化仪或示波器 中模数转换器（ADC）将输入信 号数字化的时钟速 率。请记住，采样率 和带宽没有直接的关 系。然而，通常情况 下我们希望这两个重 要指标之间具有这样 一个关系：

$$\text{数字化仪的实时采样率} = 3 \sim 4 \times \text{数字化仪的带宽}$$

奈奎斯特定理指出，为了避免混叠，数字 化仪的采样率至少需 要为被测信号中最高 频率分量的两倍。然 而，采样速率刚好等 于最高频率分量的两 倍并不足以准确地再 现时域信号。为了准 确地数字化输入信 号，数字化仪的实时 采样率应至少为数字 化仪带宽的三到四 倍。下面的图可以帮 助您理解其中的原 因。观察下面的图， 想想您希望在示波器 上看到什么样的数字 化信号。

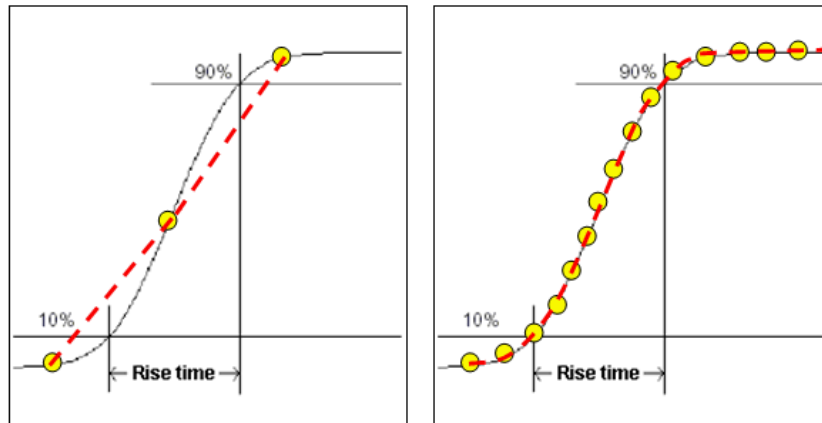


图3：右图显示了具 有足够高采样率的数 字化仪能够准确地重 构信号，从而实现更 精确的测量

虽然这两种情况下通 过前端模拟电路的实 际信号是相同的，但 是左侧的图像处于欠 采样状态，即数字化 的信号失真了。另一 方面，右侧的图像具 有足够的取样点，能 够精确地重建信号， 从而使测量更精确。 由于清晰地表示信号 对于时间域应用，如 上升时间、过冲或其 它脉冲测量来说非常 重要，因此具有更高 采样速率的数字化仪 无疑是这些应用的不 二之选。

## 3. 采样模式

采样模式主要有两 种——实时采样和等 效时间采样（ETS）。

上一节讨论的就是 实时采样率，它描述 了ADC的时钟速 率，规定了单次采集 输入信号的最大速 率。另一方面，等效 时间采样就是基于一 系列在单次模式下采 集的触发波形来重建 信号的一种方法。ETS的优势是它提 供了较高的有效采样 率。但是，它的缺点 是需要较长的时间， 并且只适用于重复信 号。请注意，ETS 并不会增加数字化的 模拟带宽，仅适用于 当您需要以更高的采 样率重构信号的情 况。ETS常见 的一种实现是随机交错 采样（RIS），下 表中列出的大多数 NI数字化仪均具有 该功能。

## 4. 分辨率和动态 范围

如上所述，数字示波 器和数字化仪都通过 ADC将模拟信号转 换为数字信号。ADC返回的比特数 就是数字化仪的分 辨率。对于任意给定的 输入范围，以数字方 式表示信号的可能离 散电平数为2b，其中b是数字化仪的 分辨率。当输入范围 分成2b级时，数字 化仪可检测的最小可 能电压就表示为（输 入范围/2b）。例如，一个8位数字 化仪把10 Vpp的输入范围分为 28=256级，每级39毫伏，而24 位的数字化仪则将相 同的10 Vpp输 入范围分为224 = 16,777,216 级，每级596 nV（比8位数字化 仪约小65,000 倍）。

使用高分辨率数字 化仪的其中一个原因 是测量小信号。有人 会问，为什么不直接 使用较低分辨率的仪 器和较小的电压范围 来“放大”信号，从 而测量小电压？原 因在于，许多信

号同时具有小信号和 大信号分量。使用较 大的输入范围可以测 量大信号，但此时小 信号将会变成大信号 的噪声。另一方面， 如果使用很小的电压 范围内，那么就会使 大信号削波，导致测 量失真和无效。因 此，对于涉及动态信 号（同时具有大小电 压分量的信号）的应 用，就需要使用具有 宽动态范围（数字化 仪在大信号存在的情 况下测量小信号的能力）的高分辨率仪 器。

传统示波器通常使 用具有8位分辨率的 ADC，这对于涉及 频谱分析或动态信号 （如调制波形）的应 用是不够的。一个更 高性能的示波器将有 助于许多应用顺利实 现。比如NI PXIe- 5162 10位示 波器，它被授予了 [2014年测试和测 量行业的年度最佳测 试仪器](#)。

5. 触发

通常情况下，示波器 和数字化仪用于基于 特定事件的信号采 集。仪器的触发功能 可允许您隔离该事 件，并在事件发生 后捕获信号。大多 数数字化仪和示波 器包 括模拟边沿、数 字和 软件触发。其他触 发选项包括窗、滞 后和 视频触发。

高端数字化仪具有 很短的触发间重置 时间，从而可实现 多记 录采集模式，在 该模 式下，数字化仪在 获 得给定的触发信 号后 开始采集一定点 数 的数据，然后快 速重 置，并等待下一个 触 发。快速重置特性 确 保了数字化仪不 会 错过任何事件或 触 发。多记录模式 对 于捕获 和存储仅我们需 要 的那部分数据非 常 有用，这样可以 优 化板 载内存的利用并 限 制 PC总线的活动。

6. 板载内存

很多时候，数据是 通过数字化仪或示 波器 传送到PC进行 测 量 和分析。尽管这 些 仪器能够以其最 大 速率（通常在几 GS/s 范围内）进行采 样，但是数据传输 到 PC的速率却受 到 PCI、LAN、 GPIB等连接总线 的 带宽的限制。虽 然 目前这些总线无 法 提供GS/s级的 速 率，但随着PCI Express和 PXI Express实现 了 GB/ s级的数 据 速率，这已经不 是 一个问题了。

如果接口总线无法 以与采样率相同的 速 率持续传输数据， 那 么板载内存可以 使 仪器以最大的速率 采 集信号，并将数据 发 送到PC进行处理。

$$AcquisitionTimeWindow = \frac{OnboardAcquisitionMemory}{SamplingRate(S/s)}$$

容量大的内存不仅 可 以增长采集时间， 还 提供了频域方面的 优 势。最常见的频域 测 量是快速傅立叶变 换 (FFT)，用于显 示 信号的频率分量。 如 果FFT具有更高 的 频率分辨率，就可 以 轻松地检测到离 散 频率。

$$FrequencyResolution(\Delta f) = \frac{SamplingRate(S/s)}{PointsInFFT}$$

根据上面的公式， 有 两种方法可以优化 频 率分辨率——降低 采 样率或增加FFT的 点 数。降低采样率通 常 不是理想的解决方 案，因为这意味着 频 率范围也会随之减 小。在这种情况下， 唯 一的解决办法就是 增 加FFT的采样点 数，这需要更大容量 的 板载内存。

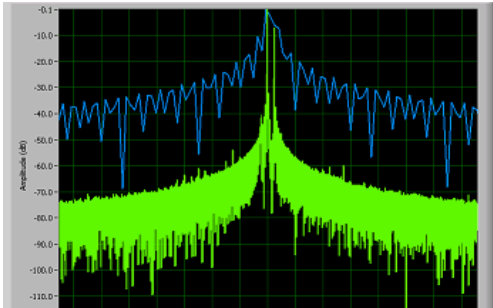


图4：更大容量的板 载内存可以使您以 更 高的采样率在更 长 的时间内采集更多 数 据点。在计算FFT 时，采样点数越多， 频 率分辨率越高

7. 通道密度

购买示波器或数字 化 仪时应考虑的一个 重 要因素是仪器的通 道 数或者通过同步多 台 仪器来扩展通道的 能 力。大多数示波器 具 有两到四个通道， 每 个通道以一定的速 率 同时采样。在使 用 数字化仪的所有通 道 时，需要注意哪些 因 素会对采样率产生 影 响。这是由于一种 称 为时间交错采样的 常 用技术，该技术通 过 将多个通道交错来 实 现更高的采样率。 如 果数字化仪或示波 器 使用这种方法，而 您 正在使用所有通 道，则您可能无法获 得 最大采集速率。

所需的通道数完全 取 决于您的具体应 用。通常情况下，传 统 的两到四个通道可 能 不能够满足特定应 用 的需求，在这种情 况 下，您有两种选 择。第一种是使用更 高 通道密度的仪器， 如 8通道（同步）NI PXI- 5105 12位60 MS / s 60 MHz数字化 仪。如果您无法找到 符 合您分辨率、速度 和 带宽要求的仪器， 这 时您应该考虑采用 一 个可以让您通过紧 密 同步来扩展测试系 统 并允许触发器和时 钟 共享的平台。虽然 由于高延迟、有限 的 吞吐量和需要外部 电 缆连接，要通过 GPIB或LAN来 同 步多个台式仪器几 乎 是不可能的，但是 PXI却提供了一个 出 色的解决方案。PXI是一个行业标 准，可将一流的同步 技 术添加到当前较高 速 率的总线上，如 PCI和PCI Express。

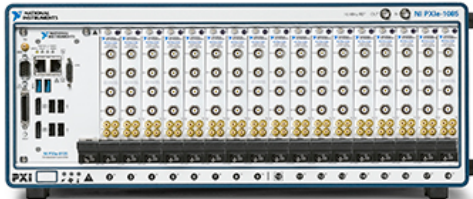


图5：使用同步技术 可以实现高通道数数 字化仪。上面的图片 显示了一个可提供多 达68个通道的系 统。此外您还可通过 同步多个机箱来实现 更高的通道数

多台设备的同步是许多应用的关键需求，这往往会增加软件开发时间。但是基于 [同步和存储核心（SMC）](#) 架构的NI数字化仪可以利用[NI-TCik](#) 技术帮助工程师以 最少的精力实现精确 的同步。NI-TCik提供了用于 多个NI数字化仪、任意波形发生器、高速数字I/O设备 同步编程的高层接口。此外，此类数字 化仪还提供了各种预 先编写的实例，用于 执行这一类型的同步，帮助您更轻松进 行开发。以下是在 LabVIEW环境 中编程多个PXI数 字化仪以实现均相同 步所需的三个函数（[niTCik Configure for Homogeneous Triggers](#)、[niTCik Synchronize](#) 和[niTCik Initiate](#)）：



## 8. 多仪器同步

几乎所有的自动化测试和许多台式应用都会需要使用多种类型的仪器，如示波器、信号发生器、数字波形分析仪、数字波形发生器和开关。

PXI和NI模块 化仪器固有的定时和 同步功能可让您无需 外部电缆即可同步所 有这些类型的仪器。 例如，您可以集成数 字化仪 (如 [NI PXI-5122](#))和任意波形发生器 (如 [NI PXI-5421](#) )来执行参数扫描，这对于表征待测设备的频率和相位响应非常有用。整个扫描可以自动化进行，从而避免了对示波器和信号发生器进行手动设置以及随后的离线分析。使用PXI模块化方法可大幅加快您的开发速度，并让您专注于结果，而不是获得这些结果所需的繁琐步骤，进而提高您的工作效率。

## 9. 信号混合功能

T-CLK技术可使您在单个PXI机箱内创建高达136个同步通道的系统或者使用多个机箱实现多达5000个通道（如上一节所述）。举例来说，NI数字化仪可以通过T-CLK技术与信号发生器、数字波形发生器和数字波形分析仪同步来构建混合信号系统同步。

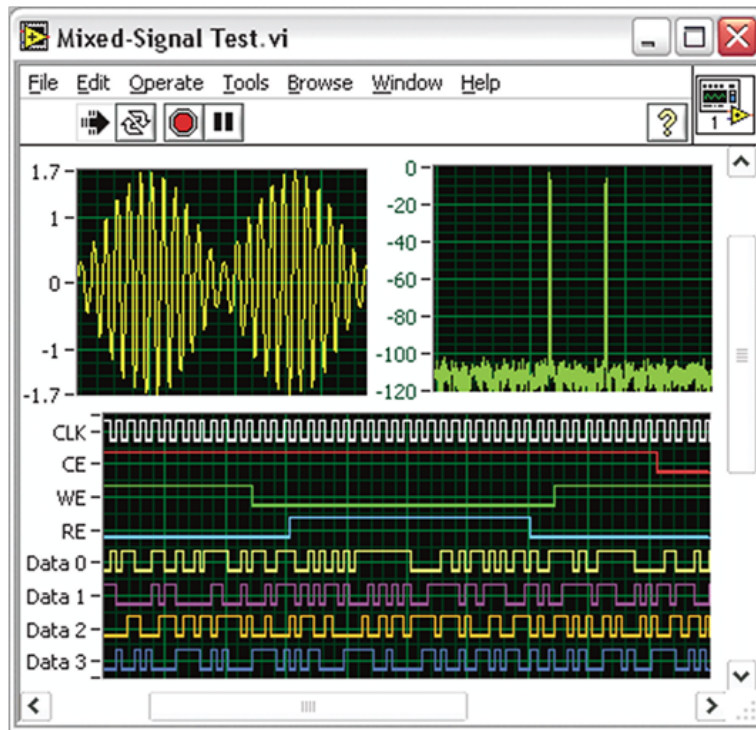


图6：上面的VI是一个已针对混合信号示波器（模拟和数字输入）功能进行配置的应用程序。此外，还可以添加数字或模拟输出功能到该程序中，而且所有仪器仍然保持同步。

您还可以使用具有任意波形发生器和数字波形发生器/分析仪的模块化PXI数字化仪来构建一个完整的混合信号应用，同时使用示波器和逻辑分析仪的功能，而不仅仅是实现一个具有有限数字功能的混合信号示波器。

## 10. 软件、分析功能和自定义化

在选择您应用所需的模块化数字化仪或独立式示波器时，确定相应的软件和分析功能是非常重要的，这个因素可帮助您在两台仪器之间做出选择。

独立式示波器的功能由厂商定义，而数字化仪则是由用户定义，可帮助用户灵活地满足应用需求。台式示波器提供了许多工程师通常需要的标准功能。但您可以想像，这些标准功能并不能解决所有应用，特别是自动化测试应用。如果您需要定义示波器的测量功能，可以选择模块化数字化仪，而不是一个具有固定功能的独立式示波器，模块化数字化仪既可帮助您利用PC架构，而且还可允许您根据具体需求定制应用程序。

NI数字化仪可使用免费的NI-SCOPE驱动程序完全编程。该驱动程序包含了50多个预先写好的范例程序，重点展示了NI数字化仪的全部功能，内含的NI-SCOPE软件前面板提供了类似于示波器的熟悉界面。同一个硬件可以使用NI LabVIEW、LabWindows/CVI、Visual Basic和.NET等编程语言针对各种应用进行编程，实现常见测量和自定义测量。该驱动程序还可在LabVIEW环境内支持基于快速配置的函数。

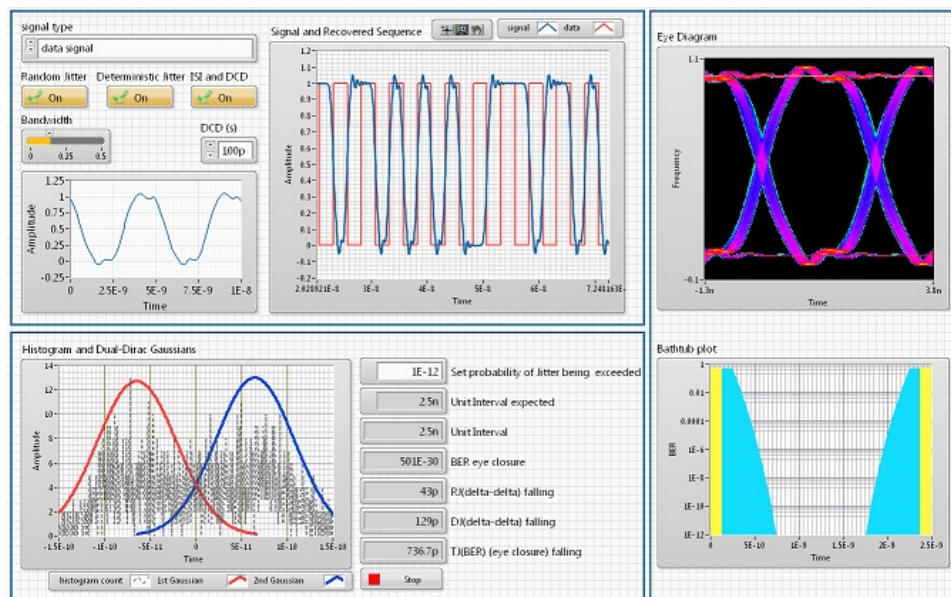


图7：您可以将NI示波器与NI LabVIEW抖动分析工具包相结合，在NI LabVIEW中进行信号完整性测量。

## 11. 下一步

虽然模块化数字化仪和独立式示波器都可用于采集电压信号，但这两种仪器具有各自的优势。然而，上述讨论的因素对于购买合适的仪器至关重要。事先考虑好应用需求、成本限制、性能和未来扩展性可以帮助您选择最符合您所有需求的仪器。

- 查看模块化示波器的更多组合，比较不同的规格或功能