

如何确定 示波器的信号完整性



引言

信号完整性一直是电子领域的热门话题。在当今的设计中，裕量不断缩小，数据速率不断提高，这意味着测量必须比以往更加精确。每家示波器厂商针对信号完整性都有自己的说法：最高的ADC位数、最低的本底噪声、最快的采样率等等。虽然这些技术指标都很重要，但更关键的是了解整个测量系统，而不仅仅是根据其中一个技术指标做出判断。

了解这些技术指标对设计的真正意义，可以让您在测试时节省大量的时间和精力。您可以确切地知道自己需要通过哪些技术指标来确定真正的信号完整性。

本电子书所介绍的建议和技巧对于任何一家厂商的任意一款示波器均适用。您可以在自己拥有的示波器上试验，当然如果能在多台示波器试验这些做法并亲自对比效果更好。

Keysight S 系列示波器在设计时充分考虑了信号完整性。了解如何通过具有行业领先技术指标的示波器来查看信号的真实特性。



目录

如何确定示波器的信号完整性



技巧 1

了解 ADC 位数与 ENOB

[转到技巧 1 >](#)



技巧 2

ADC ENOB 与系统 ENOB

[转到技巧 2 >](#)



技巧 3

带宽并不是越高越好

[转到技巧 3 >](#)



技巧 4

并非所有同等带宽的 示波器的频响特性 都是相同的

[转到技巧 4 >](#)



技巧 5

不同偏置的本底噪声

[转到技巧 5 >](#)



技巧 6

采样率和交织采样失真

[转到技巧 6 >](#)



总结

[转到总结 >](#)



技巧 1

了解 ADC 位数与 ENOB

技巧 1

了解 ADC 位数与 ENOB

示波器中的 ADC 位数是最受关注的技术指标之一。因此，许多工程师倾向于将此作为决定示波器品质的唯一技术指标。虽然这是一个非常重要的技术指标，但如果示波器的其余部分设计不妥当，那么 ADC 位数可能就会大打折扣。

与 ADC 位数同样重要的是系统的有效位数（系统 ENOB）。系统 ENOB 是进行测量时的实际有效位数。在任一款示波器中，有些 ADC 位是不起作用的，它们被淹没量化噪声中。因此，决定示波器测量质量的是 ENOB 而不是 ADC 位数。如果测量质量太差，显然无法得到精确且可重复的结果，这会导致您对设计出现误判。

可以肯定的是，ENOB 能够更好地表示信号完整性，因为它考虑了系统误差。

示波器厂商通常不会提到系统 ENOB，因为想要设计实现高 ENOB，仅仅加入一个高位数 ADC 是不够的。ADC 周围的前端和支持电路设计也必须改进，这不是一项简单的任务。

厂商们自然倾向于宣传那些看起来最好的技术指标。因此，如果您看到 ADC 的位数比较高的话，这是一个好兆头，但您务必还要查看关系到信号完整性的其他重要元器件。ADC 位数只是这其中的一小部分。

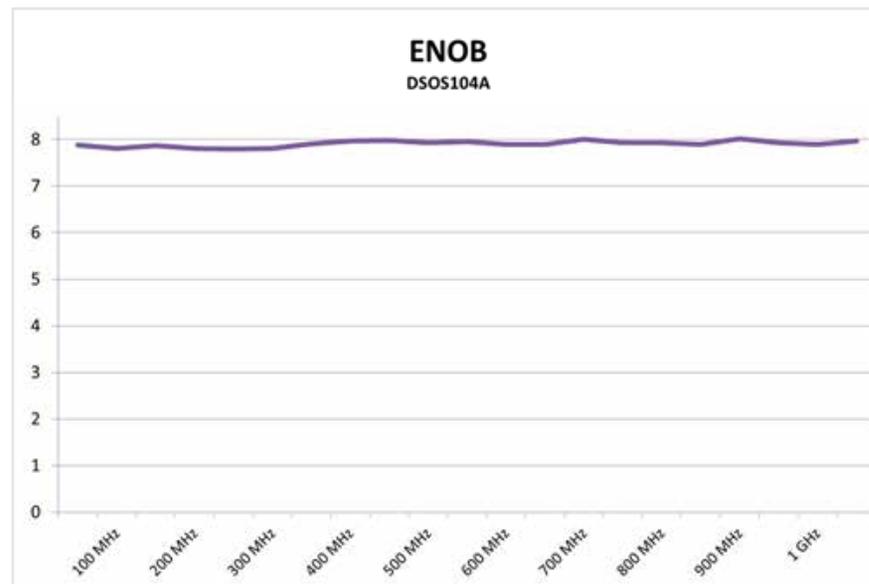
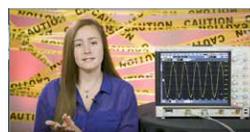


图 1. 100 MHz 到 1 GHz 的 S 系列 DSOS104A 1 GHz 实时示波器的 ENOB 平均为 8 位左右，能够确保您始终获得极高的信号完整性。

了解更多



观看此视频，了解 ADC 位数和 ENOB 的区别和产生区别的原因，以及这两个指标对测量的影响。



技巧 2

ADC ENOB 与系统 ENOB



技巧 2

ADC ENOB 与系统 ENOB

如果您只了解 ENOB 的基础知识并且只是通过产品资料获得这些信息，那么您可能不会意识到 ENOB 技术指标实际上也存在差异。请注意，在前面一节我们谈到了系统 ENOB。这个术语非常关键，因为系统 ENOB 与 ADC ENOB 有很大差异。

ADC ENOB 指的是 ADC 的有效位数，并且仅仅是针对 ADC。但是，示波器是由整个系统组成，而不只是 ADC。ADC ENOB 技术指标并不代表整个示波器的有效位数，而后者才是对测量真正起作用的技术指标。

系统 ENOB 是让您在屏幕上看到信号、进行测量、以及使用分析功能的有效位数。如果产品资料或厂家的技术文档没有注明这个技术指标，请向厂家咨询。

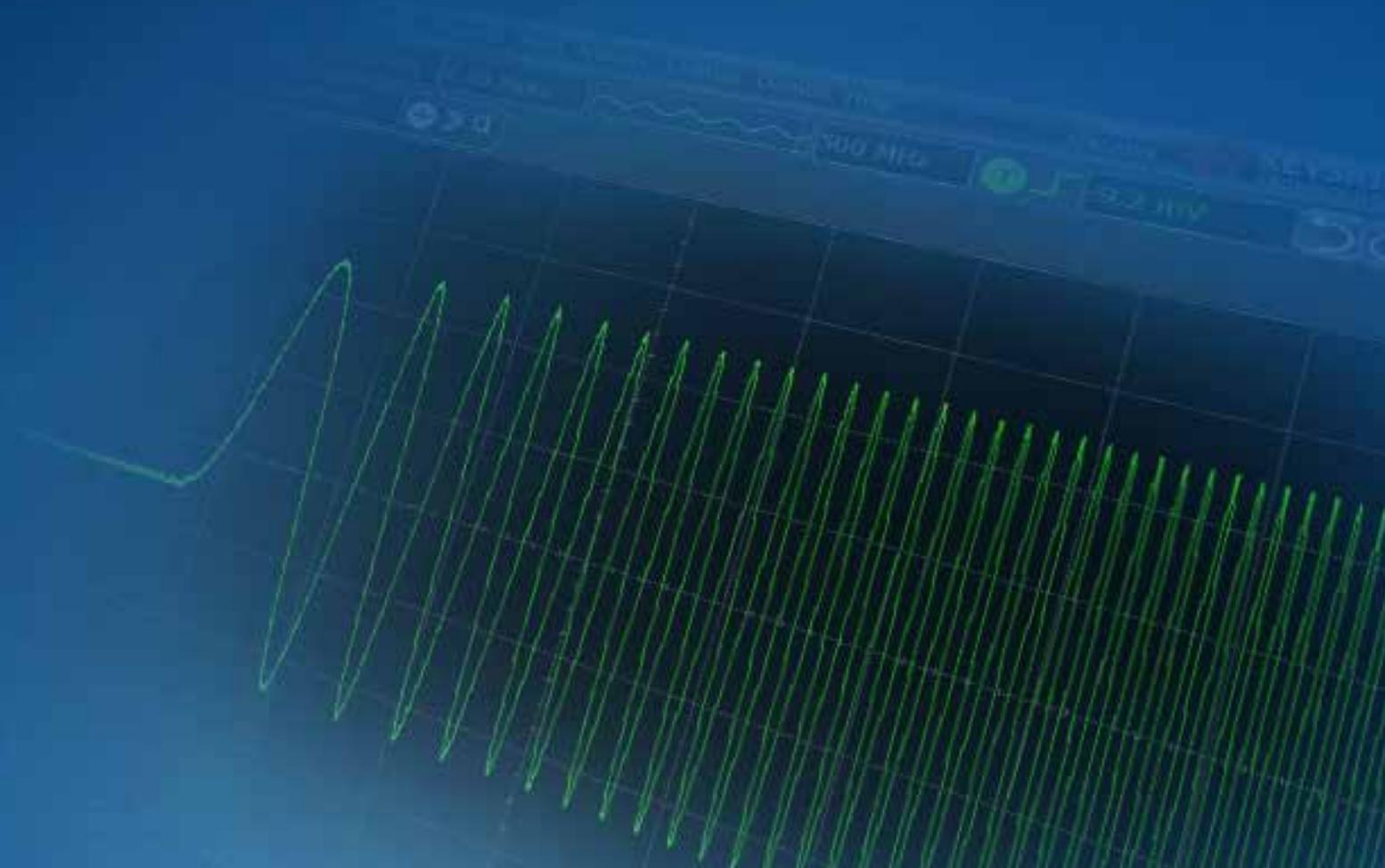
系统 ENOB 可以决定您的测试成败。
如果您的系统 ENOB 不够高，
您将无法获得实现稳定设计所需的清晰度。





技巧 3

带宽并不是越高越好



ADC 位数

系统 ENOB

 带宽

频率响应

本底噪声

采样率

总结

技巧 3

带宽并不是越高越好

有时候带宽过高反而会不好。如果仪器的带宽过高，它可能会改变您的测量结果。高带宽示波器会拾取高频噪声。请使用尽可能低的带宽，同时保证有足够的带宽来准确捕获信号。如有必要，可以使用示波器的内置硬件或软件滤波器来限制带宽。

系统的 ENOB 很大程度上受噪声量的影响。噪声越多，ENOB 越低。

例如，图 2 示出了在两个不同带宽下捕获的 20 MHz 信号。使用 100 MHz（下图）的合适带宽得到的是一个干净的信号。而使用 8 GHz 带宽捕获的信号（上图）具有更多噪声，导致信号更宽，峰值测量不准确。

这里的经验非常简单，但大多数人都不知道这一点：带宽越高，ENOB 越低。

了解更多



博客文章：什么是带宽？您需要多少带宽？

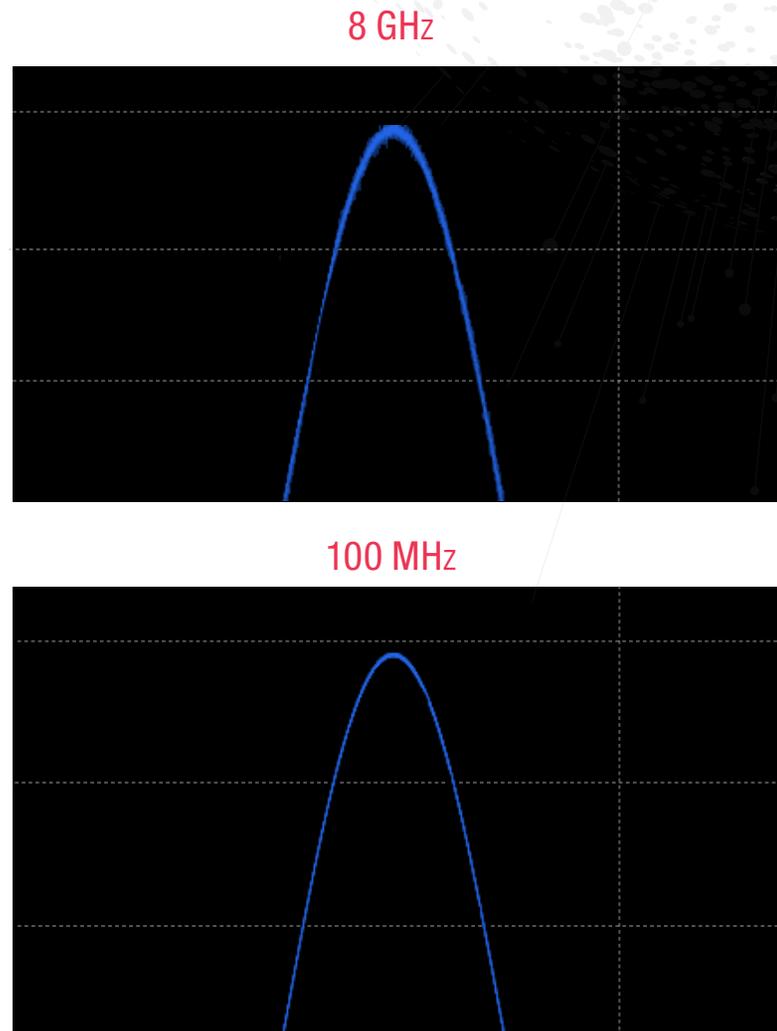


图 2. 使用 8 GHz（上图）和 100 MHz（下图）测试的 20 MHz 信号



技巧 4

并非所有同等带宽的示波器的 频响特性都是相同的

ADC 位数

系统 ENOB

带宽



频率响应

本底噪声

采样率

总结

技巧 4

并非所有同等带宽的示波器的 频响特性都是相同的

示波器的频率响应为您揭示了一个真相：并非所有同等带宽的示波器的频响特性都是相同的。

图 3 有助于我们理解这个概念。请注意，在您提高是德科技示波器的带宽时，频率响应一直保持平坦。这是因为示波器中使用了硬件校正滤波器，这意味着您的信号几乎没有衰减。屏幕上显示的就是器件的真实特性。这可以确保您在示波器的整个带宽范围内获得精确的测量结果。

然而，有些厂商不使用校正滤波器。这意味着仪器会使较高的频率分量出现小幅增强。其原因是高频信号需要被衰减，以便进入可测量的带宽范围。到最后，这会让您在屏幕上看到的信号，使峰值测量出现偏差。

您会对测量结果产生疑虑，因为无法弄清楚设计中的问题到底出在了哪里，而实际上这一直都是示波器信号完整性差的缘故。

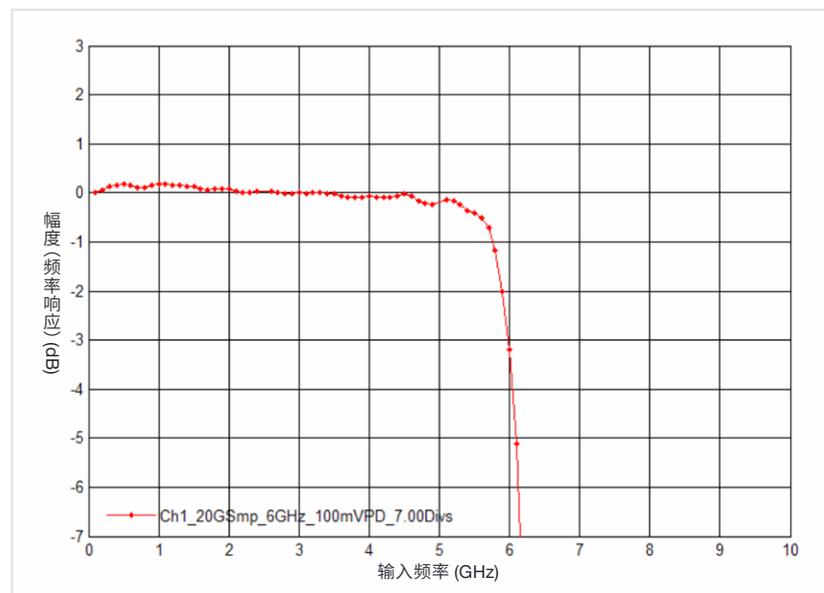


图 3. Keysight S 系列示波器平坦的频率响应确保了整个带宽范围的精度

请向供应商索取您感兴趣的特定带宽型号的
频率响应图。这些图很少出现在产品资料中，
但这些信息是可以提供的，
如果您需要的话，厂家应当提供。



技巧 5

不同偏置的本底噪声



ADC 位数

系统 ENOB

带宽

频率响应

 本底噪声

采样率

总结

技巧 5 不同偏置的本底噪声

下面这一点会让许多工程师都感到惊讶：您是否知道示波器的本底噪声会根据信号在屏幕上的位置而发生变化？

当信号直接位于屏幕中央时，最有可能获得理想的最低本底噪声。但是，由于仪器中 ADC 的质量有差异，您可能会在屏幕上的不同垂直偏置处看到不同的噪声电平。这与该偏置处需要显示的量化电平的数量有关。

每台示波器都会出现这种情况，区别只是过对信号和测量的影响程度不一样。S 系列示波器的噪声变化非常小，如图 4 和图 5 所示，但是在其他厂商的某些仪器，这个问题非常突出。

务必在屏幕上的不同点对示波器的本底噪声加以分析，确保它不会影响到您的信号。

了解更多



观看此视频，了解有关测量系统本底噪声的技巧。



图 4. 屏幕中心的噪声



图 5. 噪声增加到了屏幕的上半部分



技巧 6

了解采样率和交织采样失真

技巧 6

了解采样率和交织采样失真

通常，采样率越高，您看到的信号细节就越多。但是，这取决于示波器如何实现这样的高采样率。

有些示波器可以实现令人难以置信的高采样率。为了实现这一点，必须使用两个或更多个 ADC 进行交织采样，即以“一个接一个”的方式与时钟相位时延同步。这样能够有效地将最大采样率翻倍。

但这里有一个问题。采用这种技术时，ADC 之间的同步需要非常精确。遗憾的是，许多示波器厂家并不能正确完成这个同步。如果相位时延时钟未正确对准，那么样本会以不均匀的间隔来采集。这会使得重建并显示在屏幕上的波形出现失真，如图 6 所示。

幸运的是，Keysight S 系列不会出现这种情况，因为 ADC 已正确同步，但是，在您评测示波器时，正确的同步仍然非常重要。一些高端示波器，如是德科技最新推出的 **UXR 系列**，无需使用 ADC 进行交织采样即可实现高达 128 GSa/s 的速度，从而实现非常精确的测量。

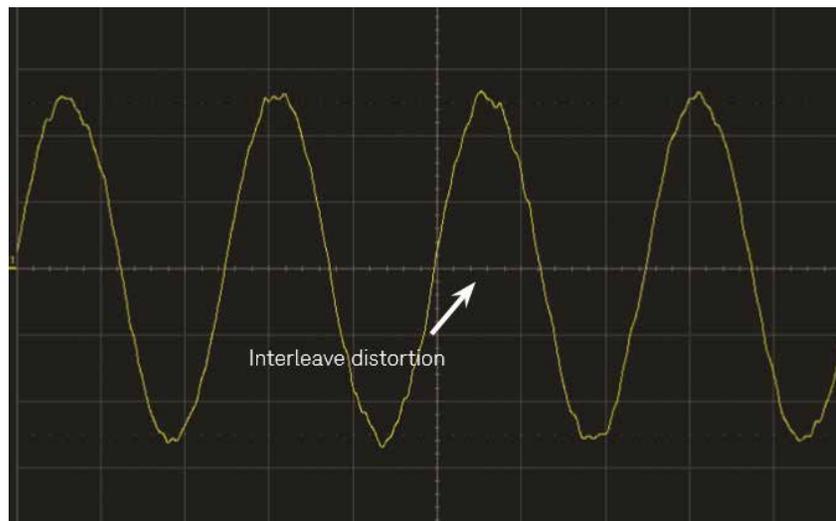


图 6. 如果 ADC 的交织采样性能很差，信号会出现失真。

了解更多



应用指南：关于采样率，您需要知道的一切

总结

最后,最重要的一点是持续学习。了解信号完整性的真正影响因素能够让您避免因常见的信号完整性误解而出现问题。了解整个测量系统的功能特性至关重要。如果您知道需要了解哪些技术指标,那么您就可以轻松地掌握每台示波器的真实性能。

在您进行测量或寻找最适合您的示波器时,请记住以下这些重要经验:

1. 一定要索取系统 ENOB 的信息,以判断总体测量质量
2. 记住要查看系统 ENOB,而不仅仅是 ADC ENOB
3. 只使用真正需要的带宽而不使用过高的带宽,以便降低噪声
4. 向厂家索取频率响应图以确保示波器在整个带宽范围内保持平坦的响应
5. 在示波器屏幕上查看不同偏置下的本底噪声,确保本底噪声不会给测量造成明显的影响
6. 请注意极高的采样率和交织采样发生错误的 ADC

了解更多



应用指南: 评测示波器信号完整性

查看信号的真实表现

无论您是在调试最新设计，验证是否符合行业标准还是在解码串行总线，示波器显示信号的真实性和完整性至关重要。这就要求示波器具备出色的信号完整性，而 Infiniium S 系列示波器的设计就考虑到了这一点。这一系列示波器具有卓越的时基、前端和 ADC 技术模块，可以提供一个具有极低噪声、低抖动和高有效位数的平台，让您能够直观地了解器件的真实性能。

查看关于 **S 系列** 信号完整性和测量性能的更多详细信息。

您是否需要更高带宽甚至更好的性能？查看下列带宽更高的示波器：

- V 系列 (8 GHz 至 33 GHz)
- Z 系列 (20 GHz 至 63 GHz)
- UXR 系列 (13 GHz 至 110 GHz)



