

【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】  
关于示波器的波形捕获率（I）

文档编号：HWTT0046



**鼎阳硬件设计与测试智库**  
群策群力，连接所有硬件人！



## 【鼎阳硬件智库原创 | 测试测量】关于示波器的波形捕获率 (I)

### 汪进进

鼎阳硬件设计与测试智库发起人之一  
深圳市鼎阳科技有限公司

### 进进按语

很久很久以前就想写写关于示波器的波形捕获率。我对这个指标一直有一种复杂的心情。今天发布关于波形捕获率的第一篇，讲了一些故事。业内人士看了可能会比较有快感，但也可能觉得不爽；对示波器的这个指标一直感到迷惑的老师同学们、工程师朋友看了可能觉得有趣。

这篇文章本想 5000 字可以写完，但写着写着，想说的话变得很多，现在看来一万字也挡不住了。这第一篇在 7 月初就写好了，但一直拖着没有写出第二篇。先发出这这第一篇，这样我就会被倒逼，快马加鞭写出第二篇了：-) 如果您希望看到第二篇，请在微信中回复“期待”二字。这是在为我们加油！

欢迎阅读，欢迎拍砖！

波形捕获率是一个被过度炒作的概念和指标。必须承认的一个现象是，如果您问 1000 位工程师，他们可能都觉得这个指标很重要，但这 1000 位工程师在实际使用示波器的 10 年里却没有真的用它来成功发现问题。但是，这个指标却一直“被重要”，不言而喻地重要。

为什么？

### 1, 波形捕获率的故事就像“皇帝的新衣”的故事：为什么诸厂商一直在片面性地鼓吹波形捕获率的价值？

在我从业的 11 年来，我很多次亲眼目睹了众多示波器行业销售人员在客户现场不断地为这个指标在打口水战，也亲眼目睹了私下里拿这个指标开玩笑。

这是一个充满了故事性和趣味性的指标，反应了示波器“数据处理技术”发展的路线，更反应了厂商的市场宣传如何利用 Marketing talking 的说法，强调一点，忽略其它，从而实现对用户的“洗脑”。

是时候该有个“小孩”出现，勇敢地谈谈“皇帝的新衣”了。这个概念有价值的一面已经说透，但是它在实践中“无力”的一面却没有被说穿。其实抹平这方面的“信息的不对称”很容易，但是身处其中的厂商谁都不愿意完全说破。

为什么诸厂商都一直片面性地鼓吹波形捕获率的价值？让我们来看看这个概念被炒作和神化的历史。





最早对波形捕获率的概念进行包装的是T公司，那时候的Marketing Talking是“第三代示波器”，“数字荧光示波器”，“同时具有模拟和数字示波器的特征”。但是，T公司的这个快刷新和现在多数厂商强调的波形捕获率不是一种技术，后面会详细说明。T公司特别成功的包装说法是：这是“第三代”示波器，是示波器技术划时代的革命。后来T公司用其擅长的方式定义了一个新的系列叫DPO系列。DPO系列的示波器面板上有一个按键，叫DPX。

**但令人遗憾的事实是，早年鼓吹这个概念的T公司示波器的波形捕获率指标现在比鼎阳科技示波器的这个指标要差很多了！** T公司鼓吹这个概念长达10年以上，最早应该是在1999年，我那时候还在读研，但还没有用过数字示波器。

T公司当年强调数字荧光示波器可以在单位时间内观察更多的波形，死区时间小，不会轻易漏掉异常信号，…… 这些确实是优点，其它厂商如果强调这个指标不是那么有用，似乎在暗示用户他自己的这个指标很差，“吃不了葡萄说葡萄酸”，因此，其它厂商只好忍气吞声，暗暗发力，试图能在技术上解决这个问题，否则在T公司一贯擅长的宣传攻势下是抬不起头的。

在其它厂商忍气吞声那么多年后，在2010年前后突然开始集体发声，一个接着一个地宣布自己的波形捕获率指标达到了业界之最。A公司宣布达到了33万次/秒，B公司宣布达到了50万次/秒，C公司宣布达到了100万次/秒，…… 国产示波器如鼎阳科技的SDS3000也达到了最大100万次/秒。你方唱罢我方登场，相关的文章以学术论文的面目开始规模性出现，某中文搜索引擎搜索到的相关学术论文达到了1163篇。**这样的共同炒作之下，使得这个指标被称为了公认的“示波器第四大指标”。**在这样的形势之下，谁还敢说这个指标没有什么用？！于是示波器厂商都默认这个指标是有用的，都在不断追求这个指标的提升。

为了在竞争中利用“快刷新”赢得客户，T公司设计了一种DEMO板，它的销售人员每次演示时都会演示利用快刷新功能捕获到DEMO板发出的偶发性异常信号，然后在客户现场鼓动客户拿其他品牌示波器试一试能不能找出这个异常信号。显然，其它示波器是找不出来的。于是客户就知道了这种快刷新示波器果然厉害！

D公司在波形捕获率方面一直是个软肋。D公司的人员谈起这个指标都嗤之以鼻。事实上从事高端示波器的销售人员在私下圈子里内心里都把这个指标当作笑话，但面对客户时又神乎其神地吹捧这个指标。于是在2008年，D公司发布了一个新技术，声称可以比T公司的DPX技术能更快地找到异常信号。D公司在中国市场将具有这种技术的示波器命名为“第四代示波器”。其实D公司的销售人员知道这只是又一个针对快刷新的笑话的笑话。**拿笑话打笑话，在公司内部心照不宣。**这个新技术的名字叫TriggerScan。有了TriggerScan新技术之后，D公司就设计了一种DEMO板，它发出的一种异常信号可以用TriggerScan找到，但是用T公司的快刷新就是无法找到。遗憾的是，D公司的市场宣传能力上逊色于T公司。这个技术居然没有被神话！D公司不喜欢吹一些没有真正技术含量的技术！

有一天，我通过微信认识了一位兄弟，他邀请我去看他正在创业中研发的一款示波器，可以颠覆目前的所有示波器。他称之为一个划时代的产品，因为可以全捕获，没有死区时间。我当时听了很惊讶。心想如果示波器真的做到无死区，那真的是颠覆了。于是我就找鼎阳科技的研发副总裁谈，希望他能接触一下这位民间研发者。没想到他只是轻描淡写地说，波形捕获率这个指标提升上去，现在对任何一家都不是难题了，只是定义产品时要考虑成本，如果使用这么贵的FPGA去处理1GS/s采样率获得的数据流，无大的死区是肯定可以的。在目前的技术条件下，能做到采集死区时间无限的接近零，或在一个短时间内的采集做到无死区是可以的，不可能做到持续的无死区采集。





后来我深入研究示波器底层硬件架构才知道，在当今所有圈内从事示波器核心研发的人员心中，这个指标取决于FPGA的资源 and 算法，但绝对谈不上是一个高端技术，只是做产品时要考虑的成本和指标之间的“平衡”。接下来可能会拼的是将FPGA换成专用的芯片来实现快速刷新这个指标的提升。但这种芯片的设计对于中国人已属于“小菜一碟”，对于目前主流的示波器玩家如鼎阳科技，K公司，T公司都是小菜，都只是属于产品的定义问题。

我们可能有一个印象是模拟示波器几乎没有死区，因为T公司曾经宣传说DPX的优点就是保留了模拟示波器的特点。但是，模拟示波器其实是有大大的死区的，只是这个指标没有被说明过。模拟示波器扫描完一屏幕后切换回来，重新再扫描一屏幕，“从头再来”存在机械上的死区时间。

## 2, 波形捕获率 VS 波形触发率 VS 波形刷新率 VS 肉眼刷新率

波形捕获率相关的名词有点混乱，有波形捕获率 VS 波形触发率 VS 波形刷新率 VS 肉眼刷新率等说法。有必要对这些行业人士长期在使用的相近的词汇的含义进行澄清。或者说我在这里定义一下我的理解。

示波器的波形捕获率，顾名思义，就表示示波器单位时间内捕获多少次波形，其单位在英文中写作“wfm/s”（wfm是waveform的简写），中文现在一般就写作“次/秒”、“帧/秒”。譬如鼎阳科技智能示波器 SDS3000 系列波形捕获率最大可达到 100 万次/秒，就表示示波器每秒钟能捕获 100 万个波形并显示在示波器的屏幕上。而同类基于 Windows 操作系统的示波器的波形捕获率很多只有每秒 2500 次，有的只有几百次。

怎么理解“每秒捕获多少次波形”呢？如图 1 所示是使用鼎阳科技智能示波器 SDS3000 系列捕获一个脉冲在变化的 PWM 信号，示波器在稳定触发上升沿之后的任意瞬间，都能在示波器屏幕上看到这样似乎由多种脉宽“组合”在一起的波形。但实际上波形不可能是这样的。

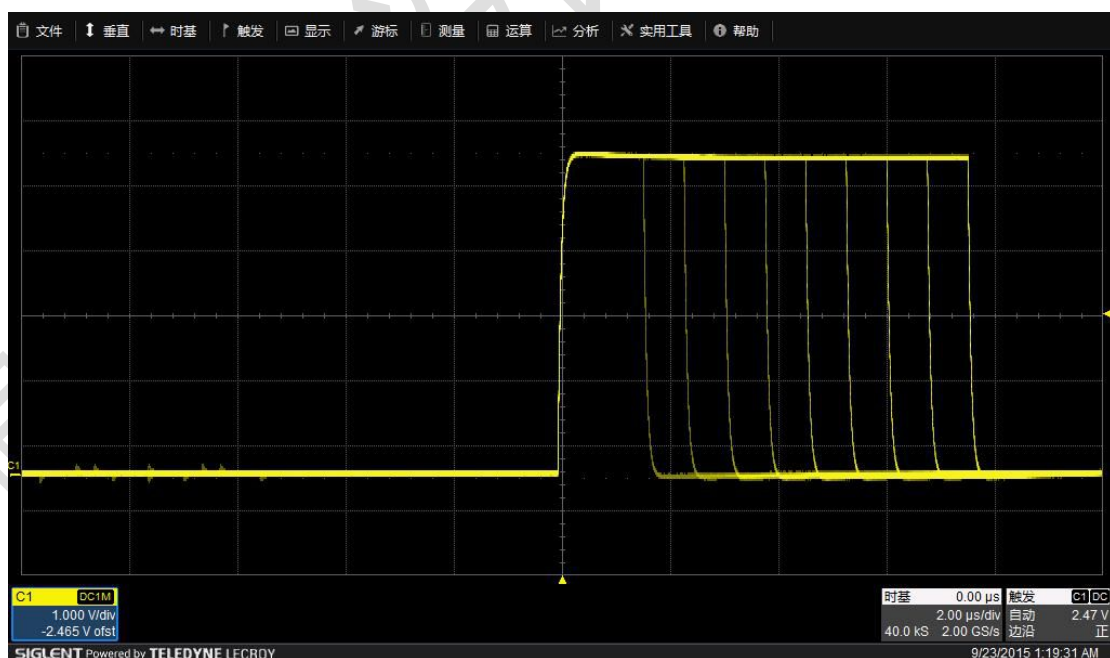


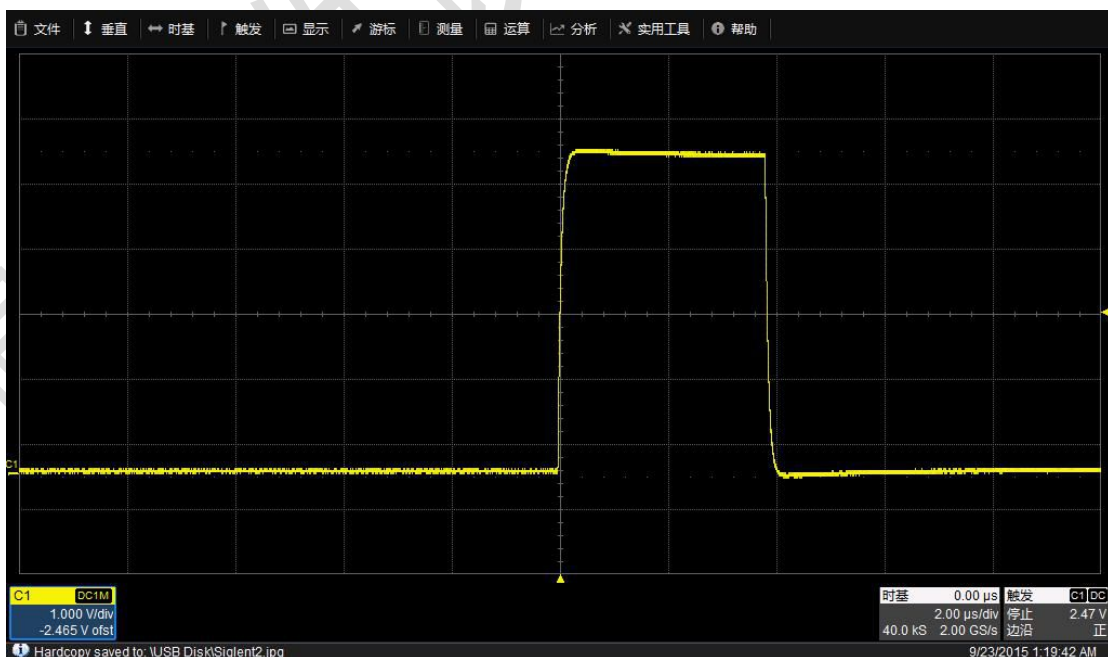
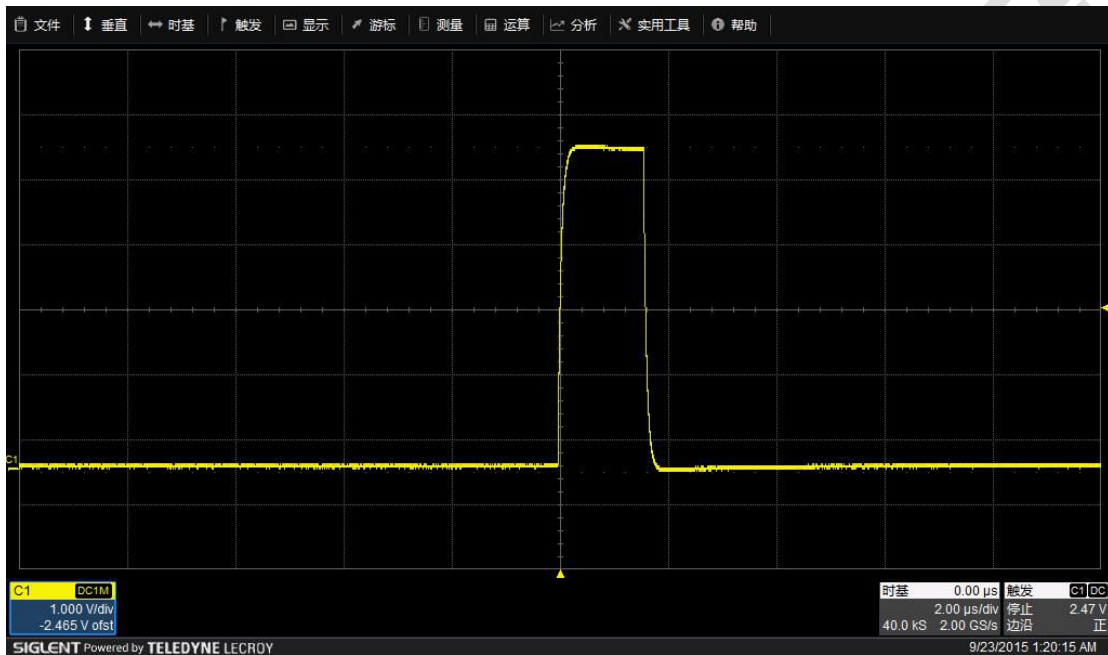
图 1 鼎阳 SDS3000 系列采用 SP0 技术, 单位时间内同时捕获显示大量的波形信息

实际上的波形是如图 2 的一组波形所示，单次捕获的脉宽是“一个”方波信号，每次的方波的脉冲宽度有所变化，但由于 1 秒的时间内人的肉眼只能识别出 60Hz 左右变化速率的信号，即人的肉眼刷新率只





有 60Hz 左右（有的说法是 75Hz），而示波器波形捕获率则可能是 100 万次，所以，肉眼在 1 秒内看到的是  $100\text{万}/60=1.666$  万个，就是说屏幕上看到的波形在 1 秒钟内由 1.667 万个方波“叠加”在一起。每秒捕获 100 万次波形，就相当于示波器每秒有 100 次的单次触发。除了早年 T 公司示波器搞的 DPX，是波形刷新率，纯粹是“像素”的刷新，现在我们谈的波形捕获率实质就是波形触发率，触发一次，示波器上的波形就刷新一次。波形捕获率最终反应在示波器的屏幕显示上也就是波形图形的刷新，所以波形捕获率也可以理解为波形刷新率，但波形刷新率不能理解为波形捕获率。这有点玩文字游戏的味道，用“刷新”一次强调的是 DPX 技术在屏幕上显示的只是“像素”，不是真正 ADC 采样滞后捕获的数据样本的显示。这是 DPX 的天生缺点。



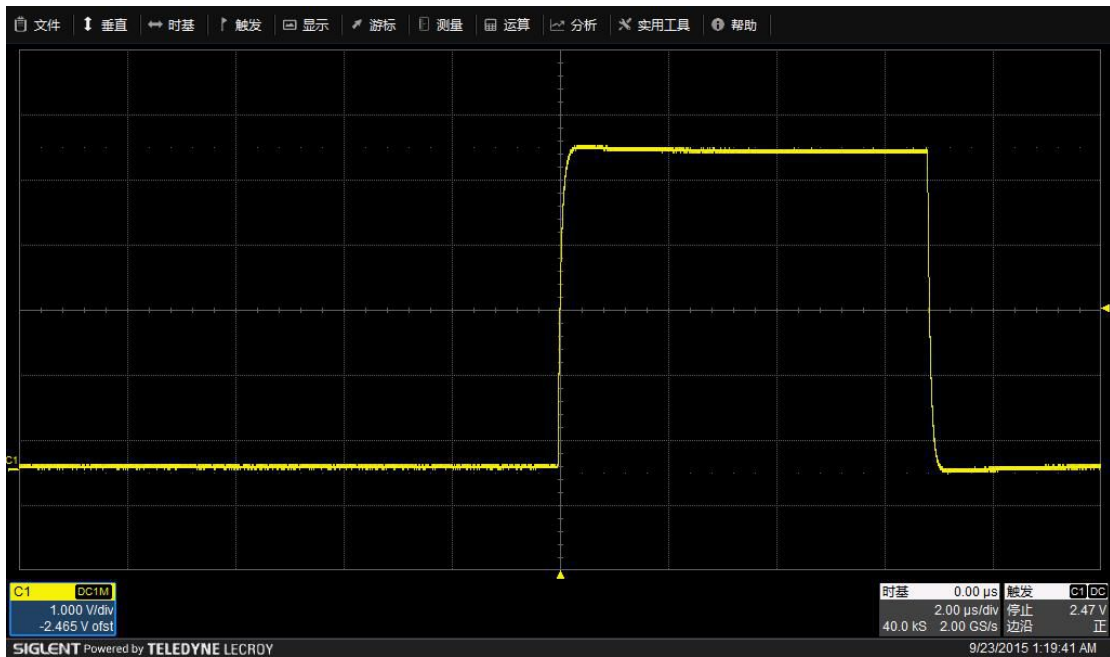


图 2 单次捕获, 显示“重叠”的波形是由一组脉宽变化的波形组成

更通俗地说, 我们平时肉眼看到示波器上的波形一直在变化, 但肉眼能观察信号的变化速率只有 60Hz 左右, 60 次/秒。肉眼看到示波器上的波形在“不停地”变化, 但实际上波形这次变化到下次变化之间对应的电路信号有“极大量”的信号都已经“被漏失”了, 并没有显示在示波器的屏幕上。这次捕获到的波形和下次捕获到的波形, 它们之间的时间间隔就是捕获周期。**波形捕获率, 换句话说就是捕获周期的倒数。**

怎样从示波器工作原理上理解“捕获周期”呢? 信号经探头后先进入示波器输入通道, 首先进入放大器, ADC, 采集存储器, 然后示波器会将采集存储器中离散的数据点传输到 CPU 单元进行显示处理, 测量和运算。**采集过程和显示、处理过程组成了一个完整的捕获周期。**如图 3 采集过程其实是非常快的, 因为都是通过芯片硬件实现的。ADC 将模拟信号转换为数字信号的时间相对于将采集存储器的数据送到 CPU 并进行测量分析及送到屏幕上显示的时间是忽略不计。

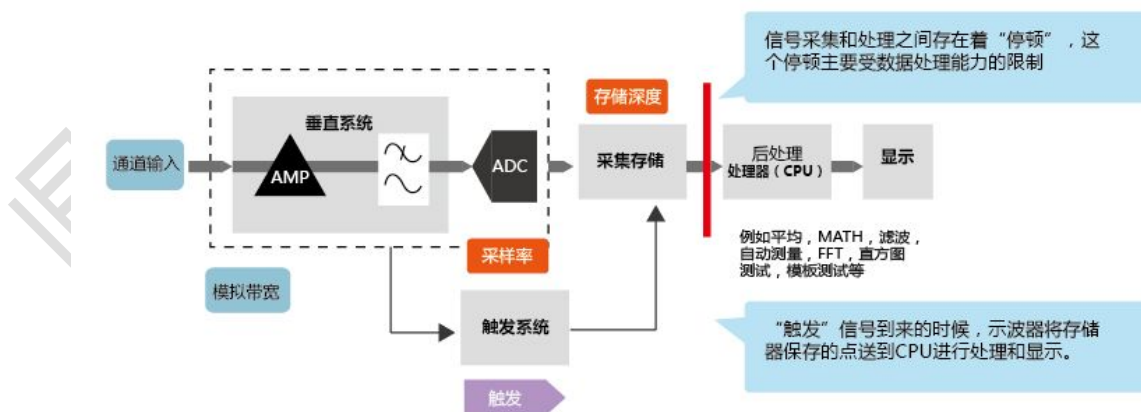


图 3 示波器的工作原理示意图

“数字示波器在捕获周期的大部分时间都用于对波形样本的后处理上, 在处理数据样本的过程中, 示波器就处于无信号状态, 无法继续监测被测信号。**从根本上来讲, 死区时间就是数字示波器对波形样本后**

**处理所需要的时间。** 图 4 显示了一个波形捕获周期的示意图。捕获周期由有效捕获时间和死区时间组成。在有效捕获时间内，示波器按照用户设定波形样本数进行捕获，并将其写入采集存储器中。捕获的死区时间包含固定时间和可变时间两部分。固定时间具体取决于各个仪器的架构本身。可变时间则取决于处理所需的时间，它与设定的捕获样本数（存储深度）、水平刻度、采样率以及所选后处理功能（例如，插值、数学函数、测量和分析）多少都有直接关系。死区时间比是死区时间和捕获周期之比，而捕获周期的倒数就是波形捕获率。这两者都是示波器的重要参数，它们之间是有关联的。”

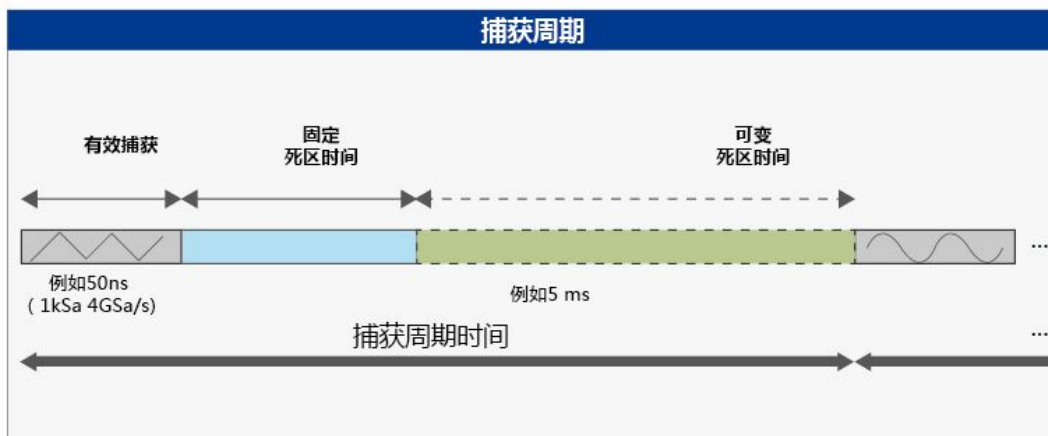


图 4 数字示波器的一个捕获周期

每一个捕获周期的起点在哪里？ 触发！ 触发一次，捕获一次。 概言之，示波器将模拟信号离散成“数字化的”点”，这些点被暂时保存保存在”采集存储器”里。 如果没有触发，采集存储器按照“先进先去”的原则，离散化之后的新的数据会不断进入采集存储器，老的数据会丢失掉。 示波器每触发一次，示波器就就采集到的信号送到屏幕上显示一次。触发一次，捕获一次！

**在参考文献[1]中给出的解释其实已经很能说明问题，在此重复如下：**

我们可以将示波器的存储器理解为环形存储器。示波器不断采样得到新的采样点会填充进来，老的采样点会自动地溢出，这样周而复始的过程直到示波器被“触发信号”“叫停”或者间隔一定长的时间被强迫“叫停”为止。“叫停”一次，示波器就将存储器中保存的这些采样点“搬移”到示波器的屏幕上显示。这两次“搬移”之间等待的时间相对于采样的时间极其漫长，被称为“死区时间”。

上述过程经常被这样打比方：存储器就像一个“水缸”，“水缸”的容量就是“存储深度”。如果使用一个“水龙头”以恒定的速度对水缸注水，水龙头的水流速度就是“采样率”。当水缸已经被注满水之后，水龙头仍然在对水缸注水，水缸里的水有一部分会溢出来，但水缸的总体容量是保持不变的。在某种条件下，水缸里的水将被全部倒出来，周而复始。

这里面的“某种条件”，相对于示波器就是触发信号到来的时刻。 所以触发一次，示波器就会采集一次波形，但显示在屏幕上的波形“动一次”肉眼看到的是“一堆波形”，因为1秒时间内示波器捕获的波形太多了，肉眼反应不过来了！ 这时候，您可能会觉得“慢”一点更好，就像传统的那些“慢”示波器，肉眼看到的体验更好，肉眼知道波形在按什么样的特点在“动”。 瞧，多么纠结！ 且看下回分解！

## 参考文献：

[1] 关于示波器的存储幅度，汪进进，鼎阳硬件设计与测试智库

## 欢迎交流：

如果您想和本文作者进行进一步的技术交流，敬请发送电子邮件到 [specialist@hwthinktank.com](mailto:specialist@hwthinktank.com)。如果您想要本文章的 PDF，请直接在微信对话框中回复您的电子邮箱地址，工作人员将在两个工作日内发送本文的 PDF 版本给您。

## 版权声明：

本微信所有文章皆为鼎阳硬件设计与测试智库专家呕心沥血之原创。希望我们的经验总结能够帮助到更多的硬件人，欢迎转载！我们鼓励分享，但也坚决捍卫我们的权益。引用请注明出处——“鼎阳硬件设计与测试智库”微信号（SiglentThinkTank）。鼎阳硬件设计与测试智库将保留追究文章非法盗用者法律责任的权利！”

## 【关于鼎阳】

鼎阳科技（SIGLENT）是一家专注于通用电子测试测量仪器及相关解决方案的公司。

从 2005 推出第一款数字示波器产品至今，10 年来鼎阳科技一直是全球发展速度最快的数字示波器制造商。历经多年发展，鼎阳产品已扩展到数字示波器、手持示波表、函数/任意波形发生器、频谱分析仪、台式万用表、直流电源等通用测试测量仪器产品。2007 年，鼎阳与高端示波器领导者美国力科建立了全球战略合作伙伴关系。2011 年，鼎阳发展成为中国销量领先的数字示波器制造商。2014 年，鼎阳发布了中国首款智能示波器 SDS3000 系列，引领“人手一台”型实验室使用示波器由功能示波器向智能示波器过渡的趋势。目前，鼎阳已经在美国克利夫兰和德国汉堡成立分公司，产品远销全球 70 多个国家，SIGLENT 正逐步成为全球知名的测试测量仪器品牌。

## 【关于鼎阳硬件设计与测试智库】

鼎阳硬件设计与测试智库（简称鼎阳硬件智库）由深圳市鼎阳科技有限公司领衔创办，是中国第一家“智力众筹”模式的硬件智库。

鼎阳硬件智库顺势顺势，倡导“连接-分享-协作-创造”的理念，高举志愿者服务的大旗，相信互联网是“爱”的大本营，相信人们都有发自内心分享的愿望。

鼎阳硬件智库选择硬件领域最普遍的七类问题：电源，时钟，DDR，低速总线，高速总线，EMC，测试







测量进行聚焦。寻找“最指尖”的问题进行研讨，针对“最指尖”的问题组织专家答疑，将硬件大师积累的宝贵知识和经验变成公众财富，惠及更多硬件人。

鼎阳硬件智库的运作载体包括“线上”的微信公众号分享，微信群，网站，网络社区论坛，博客，邮件群等多种互联网工具和“线下”的专家论坛和专家把脉。“线上”的分享坚持原创，坚持干货，保持专注和深耕。“线下”专家论坛邀请硬件相关的一线实战派专家分享“最干货”的硬件设计与测试知识与经验，面对面相互研讨；“线下”的专家把脉，通过大数据连接，促使具体问题和最熟悉这个具体问题的专家“精准匹配”，远程问诊和现场解决问题相结合。

鼎阳硬件智库，群策群力，连接所有硬件人。

有硬件问题，找鼎阳硬件智库。

