

# 示波器基础二十问（下）

---

## 目录

- 第十一问：示波器的测量方法——光标测量
- 第十二问：示波器的测量方法——自动测量
- 第十三问：介绍常用的测量类型（一）
- 第十三问：介绍常用的测量类型（二）
- 第十四问：示波器垂直系统——什么是输入耦合？
- 第十五问：示波器垂直系统——什么是带宽限制？
- 第十六问：示波器垂直系统——探头设置
- 第十七问：示波器水平系统——采样模式的选择
- 第十八问：示波器水平系统——什么是ZOOM模式
- 第十九问：示波器水平系统——什么是滚屏（Roll）模式
- 第二十问：示波器水平系统——什么是XY模式

## 第十一问：示波器的测量方法——光标测量

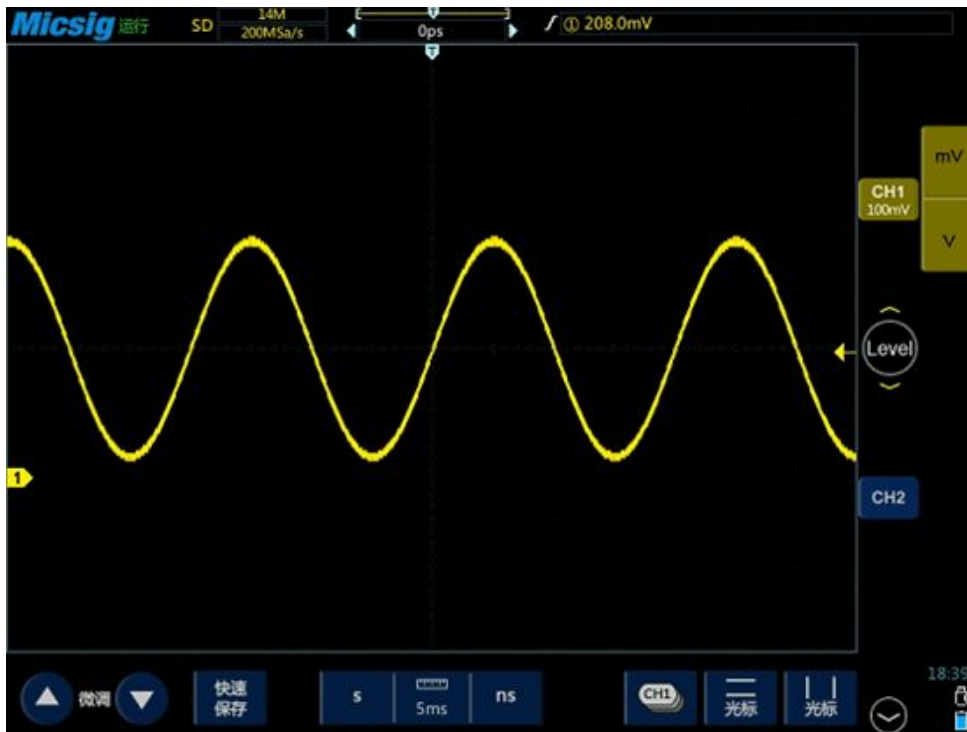
示波器发展到现阶段，已经不仅仅是在调试过程中观察波形，更重要的是能很好的测量一些参数帮助大家优化设计方案，那么如何使用示波器来进行测量呢？

示波器常用的测量方法有三种：

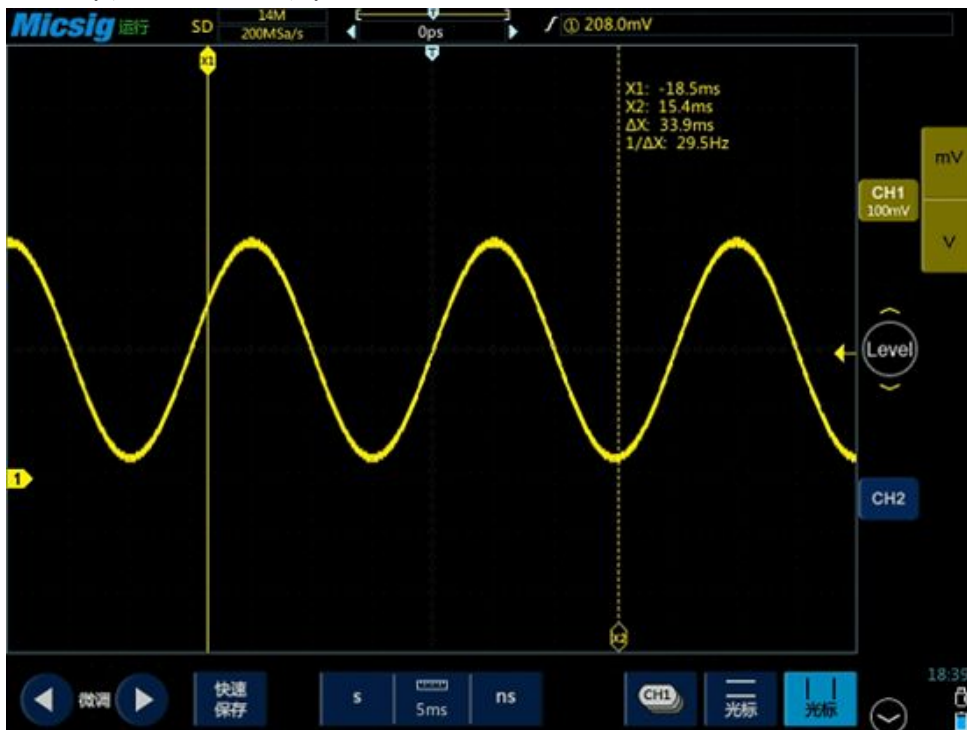
刻度测量：像传统的模拟示波器，根据视觉上波形所占格数进行评估，估测的准确度很低，只能做一些简单的定性分析。

光标测量：光标测量的原理很简单，通过移动总是成对出现的光标并从读取它们的数值从而进行测量，光标测量虽然也是人为手动测量，会引入一定的人为误差，但是相对噪声较大的信号来说，光标测量可以人为的去忽略这部分噪声，更能把握波形重点。下面来演示下光标测量：

演示1（测量信号的峰峰值）



演示2 ( 测量信号的周期 )



第三种就是接下来要介绍的：自动测量。

### 第十二问：示波器的测量方法——自动测量

当示波器正确捕获波形后，示波器可以对波形参数进行自动测量，测量项包括信号的频率、周期、幅度、相位等一系列参数。一般有以下几个操作步骤：

- (1) 打开测量菜单“测量”、“Measure”或“Meas”
- (2) 选择测量源，也就是选择要测量的通道(Ch1、Ch2、Ch3、Ch4)。
- (3) 选择测量项。

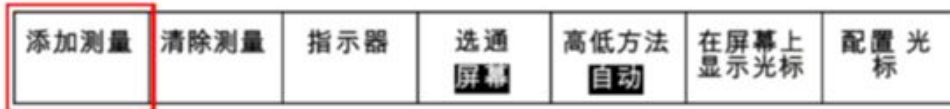
下面以三款示波器为例，列举示波器进行自动测量的方法。

#### a、便携示波器

- (1) 选择面板上的“测量 (Measure)”键，显示测量菜单。



(2)按“添加测量”。



(3)旋转多功能旋钮a选择特定的测量。

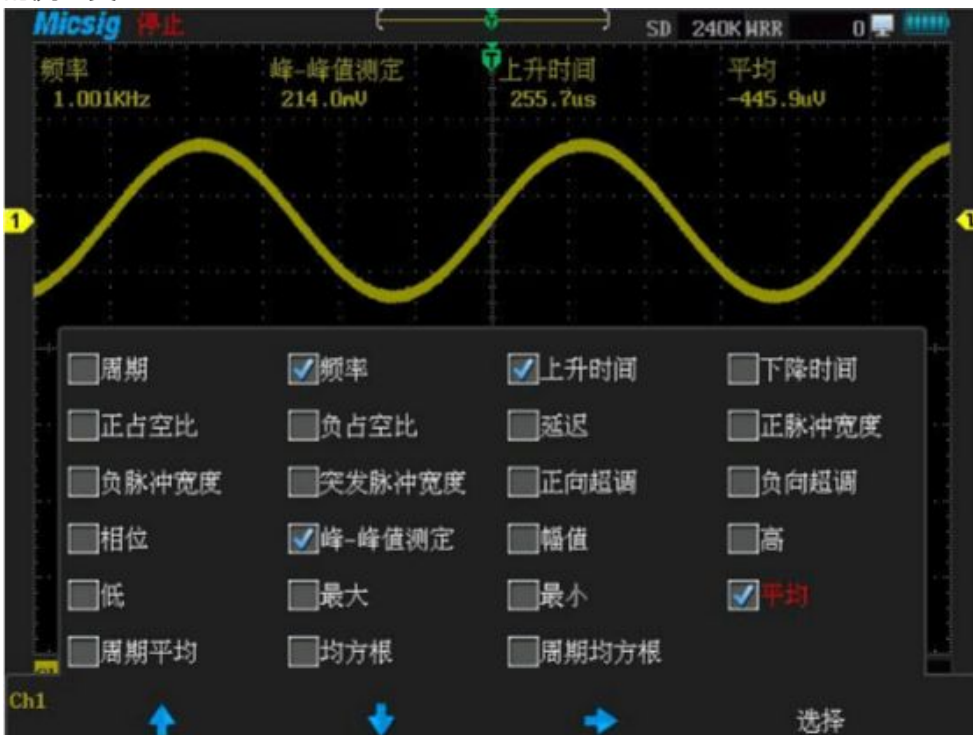


b、手持示波器

(1)选择面板上的“测量 (Measure)”键，显示测量菜单。

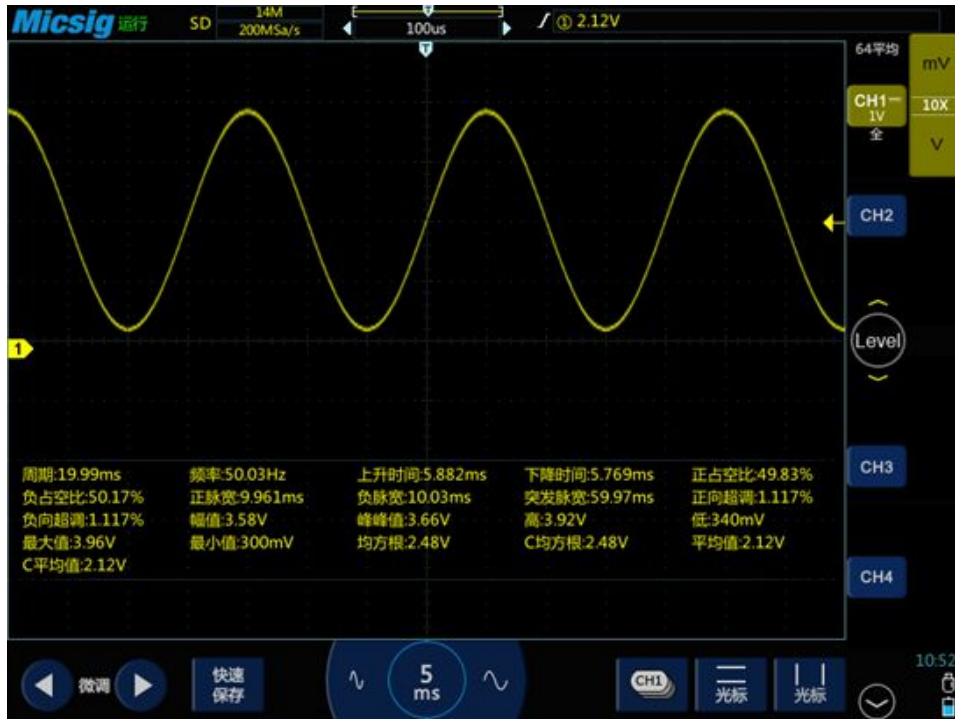


(2)屏幕弹出测量类型菜单，按通道按键Ch1或Ch2选择测量源点击触摸屏，选择所需的测量类型。



### 第十三问：介绍常用的测量类型（一）

上面已经讲到了示波器的几种测量方法，那么获取的测量结果代表信号什么样的信息呢？这两节将对部分最常用的测量类型进行介绍。

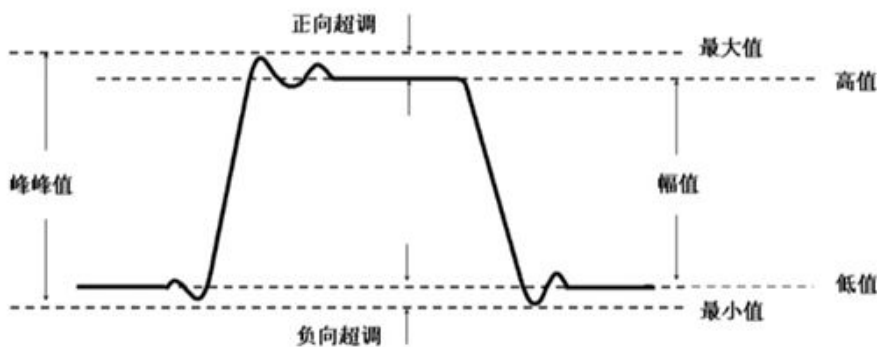


上面是示波器的全测量结果：

**频率和周期：**如果信号是重复的，那么它就会有重复的频率。频率用赫兹(Hz)表示，代表信号本身在一秒钟内重复的次数，称为每秒周期数。重复的信号还有周期，即信号完成一个周期所需要的时间。

周期和频率是倒数关系：周期=1/频率；频率=1/周期，例如上图中，正弦波的频率为50Hz，周期是20ms。

接下来的一些参数稍微复杂，我这里引入一个特殊波形方便理解



**高值：**整个波形中，取为100%的值，使用最小/最大法或矩形图形法来计算

**低值：**整个波形中，取为0%的值，使用最小/最大法或矩形图形法来计算

**幅值：**整个波形中测量，幅值=高（100%）-低（0%）

**最大值：**在整个波形中测量到的最高正峰值

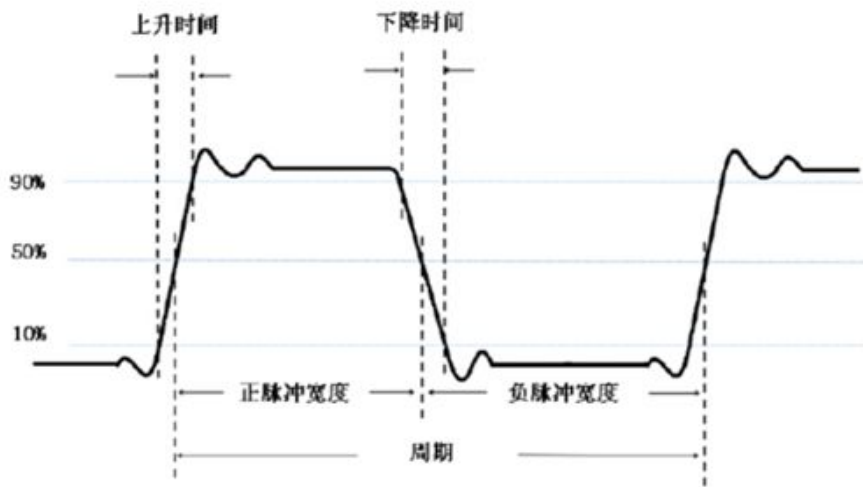
**最小值：**在整个波形中测量到的最高负峰值

**峰-峰值：**整个波形测量中，峰-峰值=最大值-最小值

**正向超调：**正向超调=[（最大值 - 高值）/ 幅值]\*100%

**负向超调：**正向超调=[（低值 - 最小值）/ 幅值]\*100%

### 第十三问：介绍常用的测量类型（二）



**上升时间**：波形第一个脉冲上升沿从幅值的10%上升到90%所需的时间

**下降时间**：波形第一个脉冲下降沿从幅值的90%下降到10%所需的时间

**正脉冲宽度**：波形中第一个正脉冲的测量值，取两个50%幅值点之间的时间

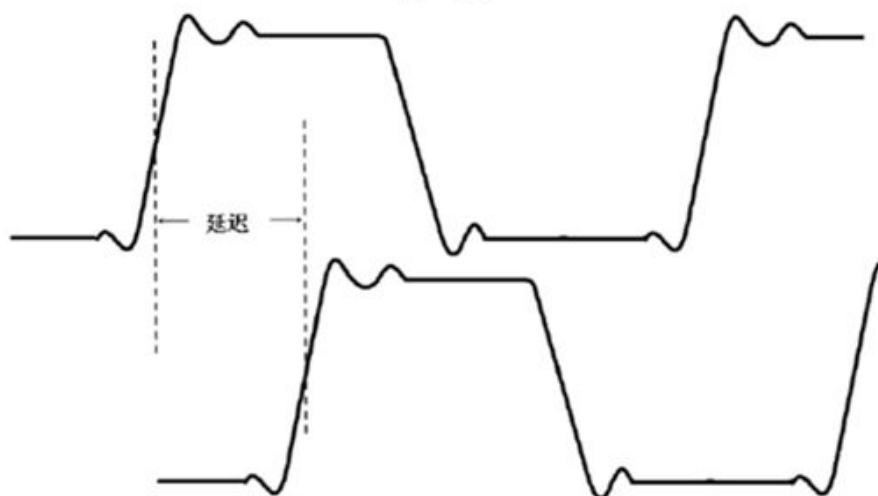
**负脉冲宽度**：波形中第一个负脉冲的测量值，取两个50%幅值点之间的时间

**正占空比**：波形的第一个周期的测量值——

$$\text{正占空比} = (\text{波形正脉宽} / \text{周期}) * 100\%$$

**负占空比**：波形的第一个周期的测量值——

$$\text{负占空比} = (\text{波形负脉宽} / \text{周期}) * 100\%$$



**延迟**：可以测量某个通道内部，或者通道间上升沿或下降沿之间的时沿，有多种有效的测量组合。

其他常见的测量值

**平均值**：整个波形的算术平方根

**周期平均值**：波形第一个周期的算术平方根

**均方根**：整个波形的实际均方根

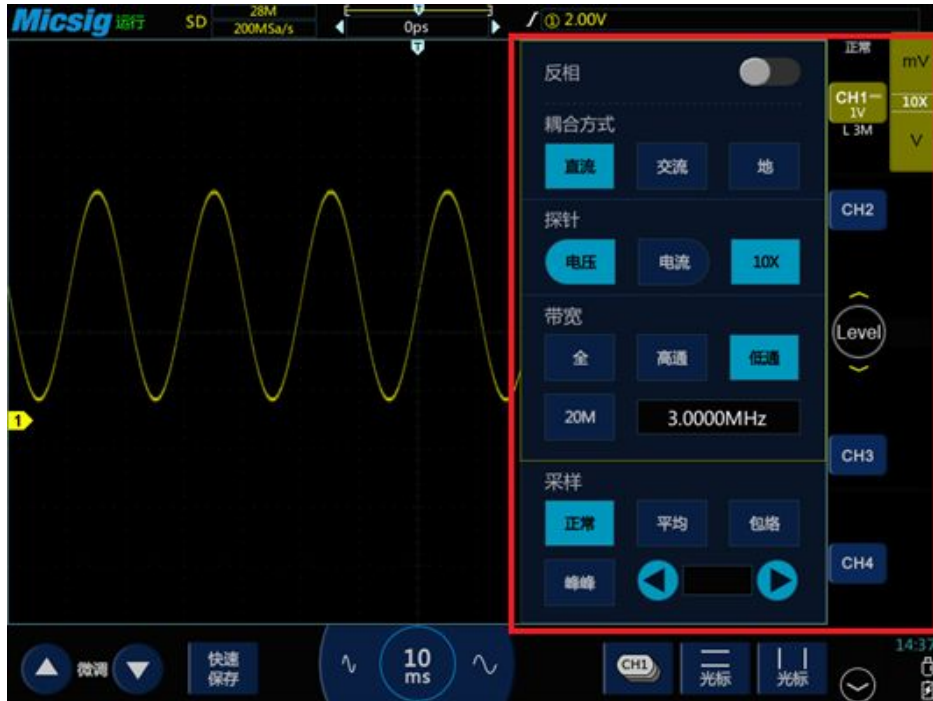
**周期均方根**：波形第一个周期的时基均方根值

第十四问：示波器垂直系统——什么是输入耦合？

在前面的内容里，我们有谈到示波器的设置，里面讲到了简单的波形调整（时基和幅度），其实示波器还有一些更复杂更有用的设置，下面我将分别介绍这些设置的含义和



用途，希望能帮助大家更好的掌握。



耦合方式：耦合是指把电信号从一条电路接到另一条电路使用的方法。在这种情况下，输入耦合方式是指外部信号从示波器输入端口进入到内部电路的耦合方式。有以下三种方式：

直流（DC）耦合：显示原始输入信号的所有分量。

交流（AC）耦合：滤除输入信号中的直流分量，只显示交流分量。例如测试电源纹波。（可以看到以零伏为中心的波形）

接地（GND）耦合：示波器自身断开外部信号，将内部信号输入端接地。（可以看到零伏位于屏幕上的哪个位置）

下图中，我将通道1、2、3接上同一个叠加直流分量的交流信号，

通道1选择直流（DC）耦合，

通道2选择交流（AC）耦合，

通道3选择接地（GND）耦合。



### 第十五问：示波器垂直系统——什么是带宽限制？

带宽限制通常是人为的将高带宽示波器限制在较低的带宽，以滤除高频的信号。我们通过限制带宽，可以降低显示的波形上有时出现的噪声，得到更干净的画面信号。另外在消除噪声的同时，带宽限制还会降低或消除高频信号部分。



常见的有 全带宽、20M，部分机器上也有 高通滤波和低通滤波。



### 第十六问：示波器垂直系统——探头设置

在一般的示波器电压探头上，我们经常见有下图中这种X1档和X10档选择的小开关，另外在示波器内部的设置上，也经常有看到探头选择的菜单。那么这些设置到底有什么意义呢？

探头档位开关：



示波器探头比例设置：



如果我们将探头上的衰减倍率当作是除，那么示波器通道菜单里的探头倍率可以比作除。

例如：被测电压是10V，探头的衰减档位为X10，那么经过探头的到达示波器的电压就是1V。如果在示波器通道里设置探头比例为10X，那么示波器显示的测量值就是10V，同理，如果示波器的探头比例是1X，示波器显示测量值就是1V。

所以只有当探头上的衰减倍率和示波器通道菜单里的探头比例相符的情况下，才会显示正确的测量结果。

附：

这里延伸一下，一般在首次购买示波器时，或是将不同品牌的探头和示波器混用时，都会涉及到探头补偿问题，去年也有提到过，那么有没有朋友想过探头补偿的原理呢？X1档位下的探头可以比作是一段同轴电缆，所以X1档位下不需要进行补偿，可以用来观察低频的正弦波，但是不适用于测量数字电路，因为同轴电缆会有一定的电容（比较典型的是50pF/英尺）和电感，但只有很小的电阻，因此这是一个有很小阻尼的谐振电路。如果让有着快速上升沿的数字信号通过它，信号会有“振铃”现象。

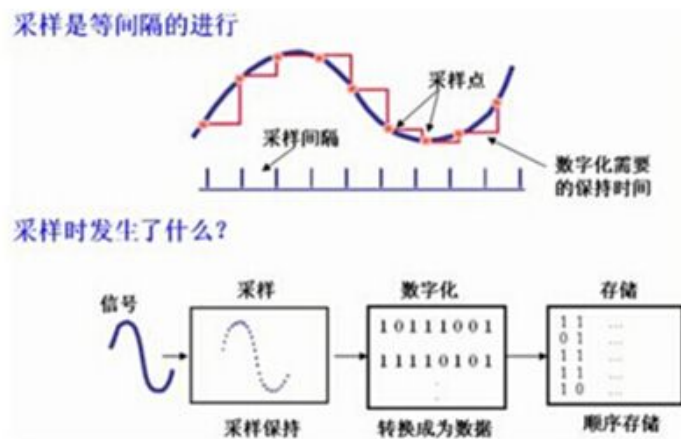
第十七问：示波器水平系统——采样模式的选择



水平系统除了之前提到的水平位置和水平刻度之外，还包括采样模式、存储深度，滚屏模式、ZOOM模式以及XY模式。其中说到采样模式，在前面解答采样率概念问题时，我们对采样的原理进行的说明。

## 示波器三大关键指标——采样率

示波器的“采样率”，顾名思义就是“采样的速率”，也就是单位时间内将模拟电平转换成离散的采样点的速率，我们常见的采样率 1GSa/S 就表示每秒采样 1G 个点，其中 Sa 是 Samples 的缩写。采样的过程如下图所示：

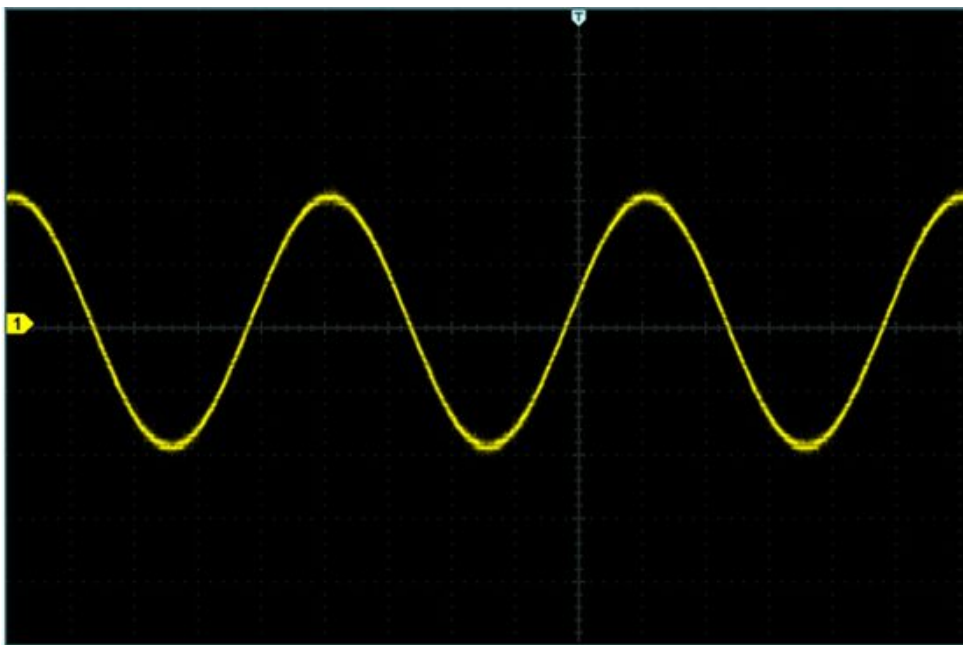


采样模式控制着怎样在样点中生成波形点，理解这句话需要先明白几个概念：

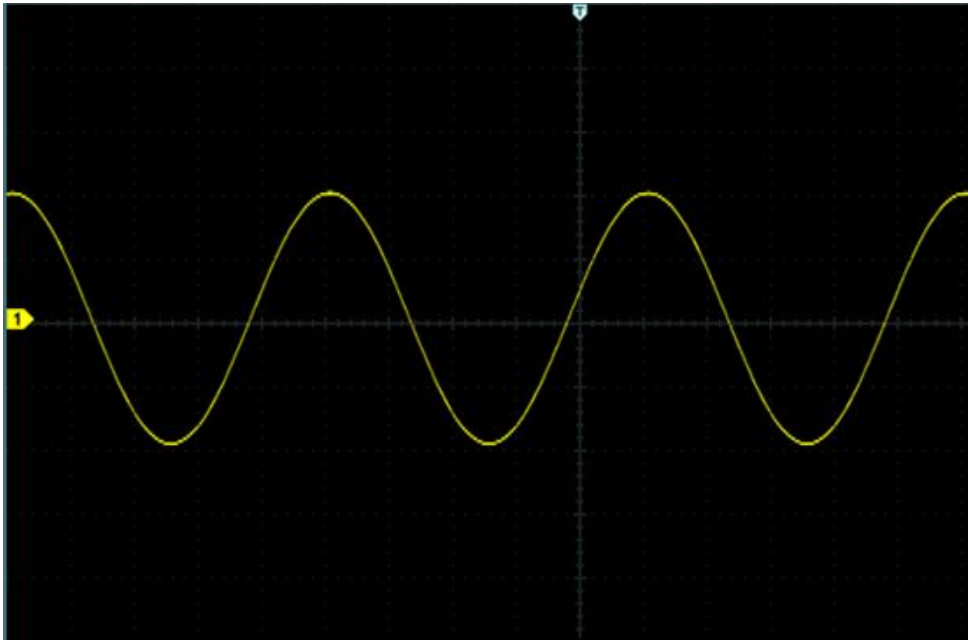
样点：将波形数字化得到的数字值；采样间隔：指这些样点之间的时间；波形点：最终构建波形的数字值；波形间隔：波形点之间的时间值差。

理解了这四个概念，也就理解了各个采样方式的差别，下面具体介绍下最常用的几种采样方式。

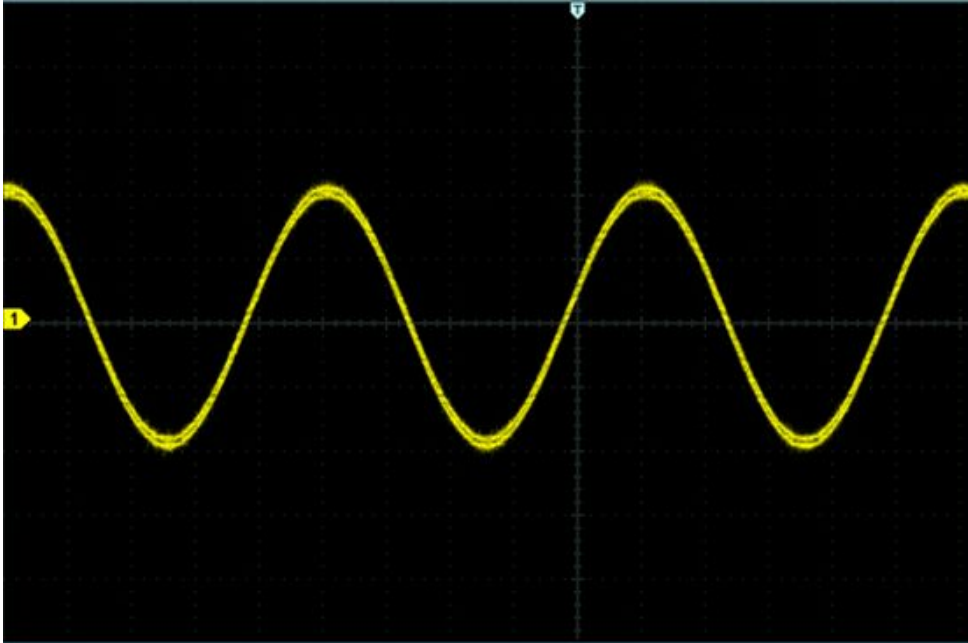
A、正常采样：最简单最常用的采样模式，每个采样间隔示波器会储存一个采样点作为波形显示的一个点；



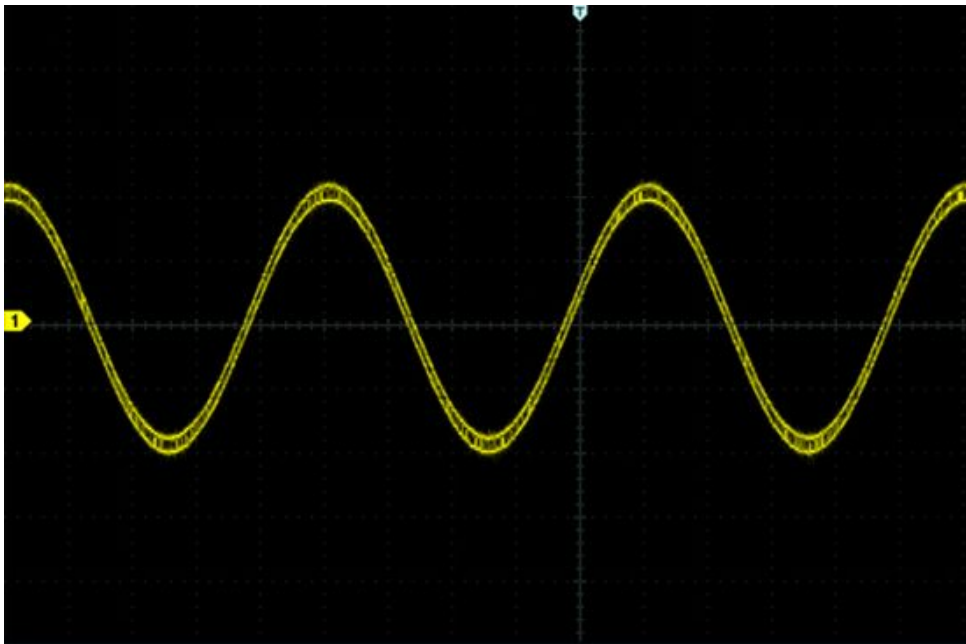
B、平均采样：平均模式下，示波器也是采样正常采样的模式，在每一个采样间隔会存储一个采样点，然后进行点对点的多次平均，生成最终的显示波形。这种模式可以在不损失带宽的情况下减少噪声，有利于对信号进行滤波测量。



C、峰值采样：示波器保存两个波形间隔期间获得的最小值样点和最大值样点，使用这样的样点作为两个对应的波形点。峰值模式可以有效的观察到偶尔发生的窄脉冲或者毛刺，但不能应用于测量。



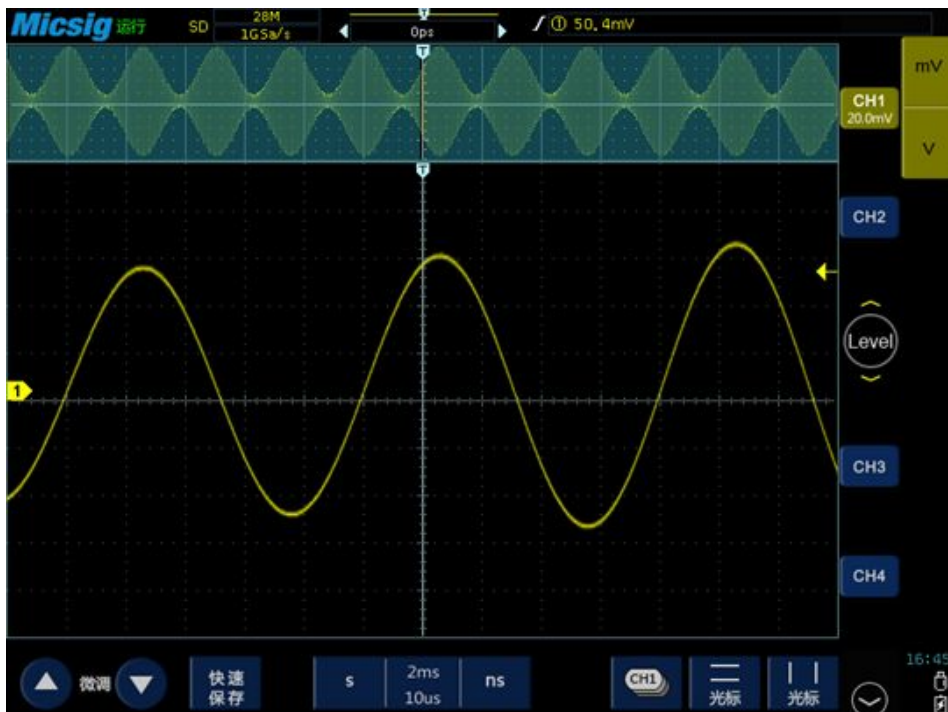
D、包络模式：包络模式下可以看到数次采样到的波形叠加效果，在指定的N次采集  
中，对每个相同位置捕获其最大值和最小值加以显示。包络方式常用来观察信号噪声和  
抖动现象。



### 第十八问：示波器水平系统——什么是ZOOM模式

示波器可以通过各种各样的视图模式来观察波形，其中就有ZOOM模式，那么在什么情况下，我们要用到ZOOM模式呢？

如果我们在水平时基较大的情况下，截取了一屏密集的波形，然后想要在观察其中一小部分波形细节的同时，又想知道它在整体的哪一个位置，这个时候就可以用ZOOM模式。下面贴个图方便大家理解，上部分是整体的波形，下面是其中一小部分的波形细节。



### 第十九问：示波器水平系统——什么是滚屏（Roll）模式

滚动模式有几个特点，理解了这几个特点，也就明白了它的用途：

大时基档位，连续采样，无采样死区，边采样变现实，不需要触发，波形始终是滚动状态

通常用于低频信号的显示和观察，具体如下图

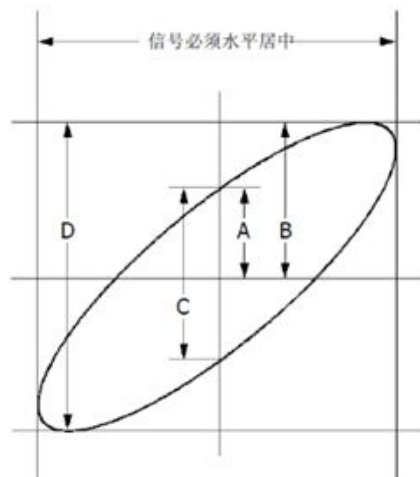


第二十问：示波器水平系统——什么是XY模式

X-Y模式，通称李沙育图形

示波器的两个通道各输入一个信号,在同一时刻,示波器把其中一个通道得到的值作为X轴值,另一个通道的值作为Y轴值,这两个值形成的坐标点上就会显示一个波形点,信号连续输入,波形点轨迹就形成一个波形图。

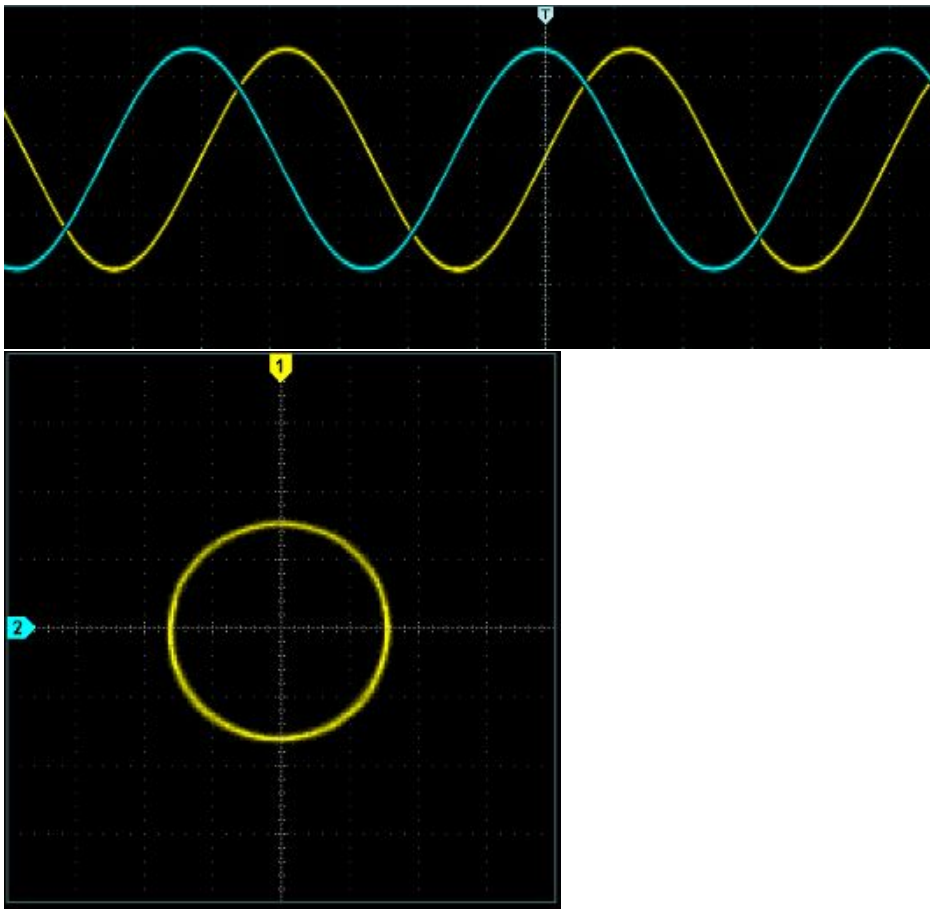
XY模式最常用是用来直观的察看CH1和CH2信号的频率比、相位差等参数。下图给出了相位差测量的原理图：



根据 $\sin\theta = A/B$ 或 $C/D$ ，其中 $\theta$ 为通道间的相差角，A，B，C，D的定义见上图。因此可以得出相差角，即：

$$\theta = \pm \arcsin(A/B) \text{ 或 } \pm \arcsin(C/D)$$

下面是相位差为 $90^\circ$ 的两个正弦波，切换XY模式得到的图形刚好是一个圆形：



下面是某位示波器用户利用XY模式做出一个动画  
<https://www.bilibili.com/video/BV1e7411Z7pF/>