

# 示波器波形理论培训



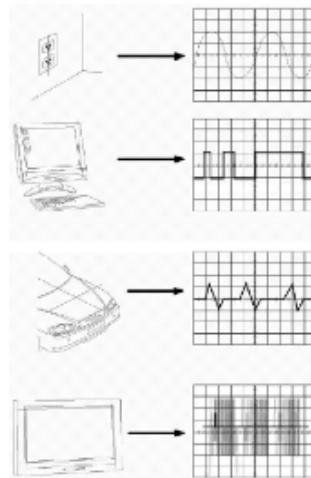
## 示波器基本理论培训教程



### 什么是波

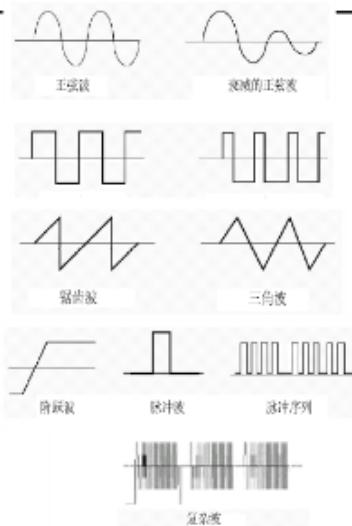


- 随时间变化的模式称为波，声波、脑电波、海浪、电压波形都是波
- 波形能够揭示信号的许多特性
  - 当看到波形的高度变化，则表示电压值在变化
  - 当看到的是平坦的水平线，则表示在一段时间内，信号没有变化。
  - 平直斜线表示线性变化，电压以恒定的斜率上升或下降。
  - 波形中的尖角指示的是突然的变更



## 波的类型

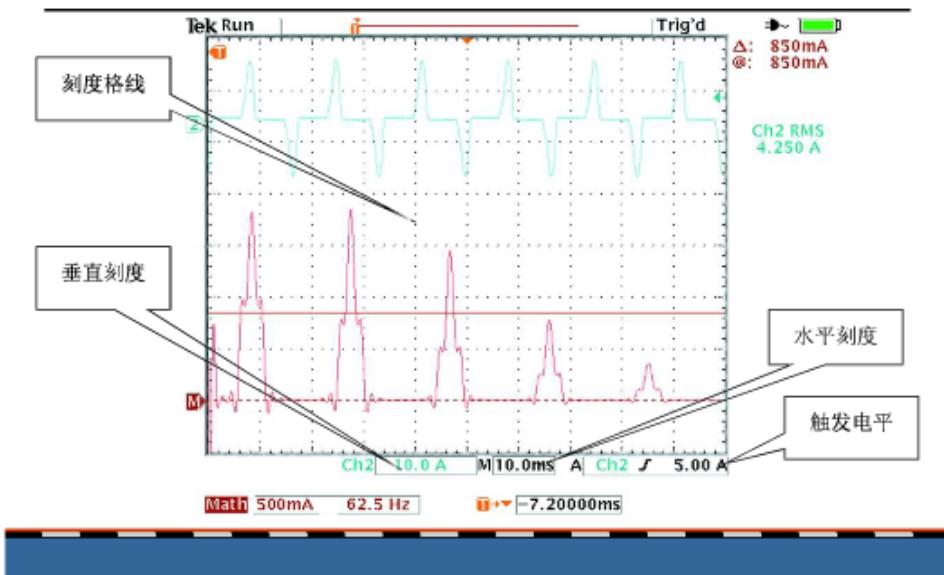
- 大多数波都属于如下类型：
  - 正弦波
  - 方波和矩形波
  - 三角波和锯齿波
  - 阶跃波和脉冲波
  - 噪声波
  - 复杂波
- 还有很多波是上述波形的组合



## 波的参数

- 周期
- 频率
- 正脉冲宽度
- 负脉冲宽度
- 上升时间
- 下降时间
- 幅度
- 占空比+
- 占空比-
- 延迟
- 相位
- 突发宽度
- 峰-峰值
- 均值
- 周期均值
- 高 低值
- 最小值
- 最大值
- 过冲+
- 过冲-
- 均方值
- 周期均方值

## 示波器的刻度



## 带宽是选择示波器的第一参数

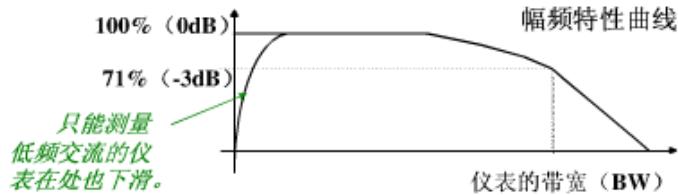


- ▶ 示波器的结构决定了带宽的重要性：
  - 放大器的模拟带宽决定了示波器的带宽；  
放大器是信号进入示波器的大门，它的带宽决定了示波器的带宽，示波器能请进什么样的信号由这个大门来决定。
- ▶ 数字示波器的带宽也是模拟带宽。

## 带宽

- 测量AC波形的仪表通常有某种最大频率，超过它，测量精度就会下降，这一频率就是仪表的带宽，它由仪器的幅频特性决定。

定义：在幅频特性中，仪表的灵敏度下降3dB，此时的频率为仪表的带宽。



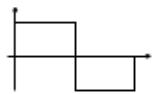
注：只能测量AC电压的仪表，必须对高频和低频带宽都加考虑。

## 选择示波器的带宽依据

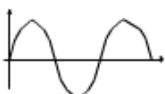
- 以谐波情况为核心选择示波器；
- 以上升沿情况选择示波器；

## 谐波

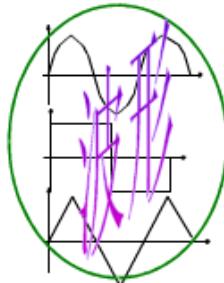
- 除绝对的正弦波之外，周期波含的一切频率分量称谐波。  
谐波频率是基波频的整数倍。
- 周期波无论其波形如何都有谐波。
- 周期波给定的频率为基波频率。



方波



基波为正弦波



## 以方波为例

- 方波是由基波与无数奇次谐波叠加所构成，包含的谐波越多，波形越近似方波。
  - 方波的质量根据包含的谐波次数，其近似程度有所不同。
  - 每个谐波的幅度必须使波形成为方波所需要的恰当值。
  - 此外，谐波之间的相位关系也必须正确：  
谐波以不等量延迟，即使谐波幅度正确，方波也会失真。



基波

叠加3次谐波

叠加5次谐波

叠加7次谐波

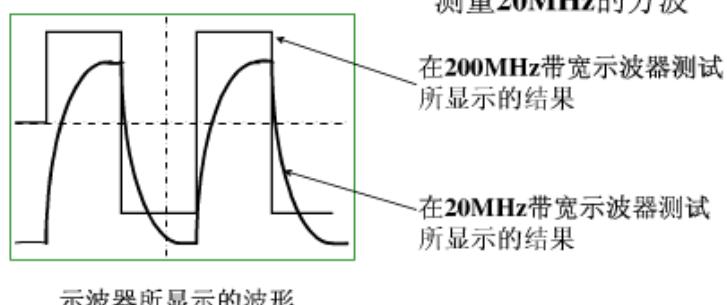
叠加9次谐波

方波

## 由方波为例得知

- 正弦波只有一个基波，仪表的带宽必须至少是波形的频率。
- 但是，在大多数情况下，这仅仅是最基本的，如果只是这样，是不够精确的，甚至是错误的。
- 要对波形进行准确的测量，对于非正弦波的波形，必须考虑其谐波。假如组成波形的主要谐波分量超出仪表的带宽，那么我们就不能精确地测得波形的参数。

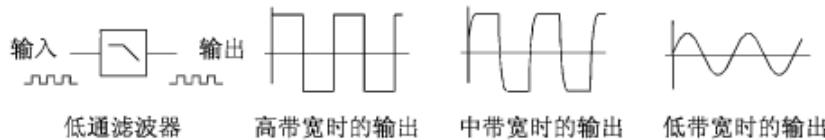
## 仪器带宽对测量波形影响



## 带宽对方波的影响

### ► 带宽如何在时域影响波形。

- 信号进入示波器首先是通过放大器，它是一个低通滤波器。
- 放大器的带宽很宽（和基波比较），输出方波不表现失真。
- 放大器的带宽变窄，波形中的某些谐波不能通过，输出的方波发生畸变，产生误差。
- 放大器带宽很窄，输出的几乎完全不像方波，由于缺少主要的谐波分量，波形呈圆弧状。



## 波形的谐波与测量精度的关系

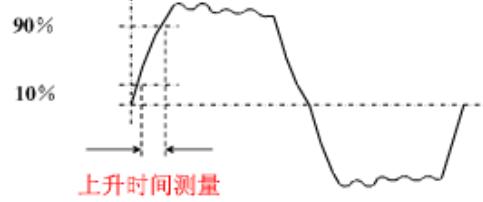
波 形	重要谐波数（基波10%）
正弦波	无谐波分量
方 波	1:9
三角波	1:3
脉冲波（占空比50%）	1:9
脉冲波（占空比25%）	1:14
脉冲波（占空比10%）	1:26

注：列出的影响波形的谐波数是基波的倍数：

## \*上升时间

- 理想的方波和脉冲波的电压是有突然变化的波形，陡变有一定时间这取决于系统带宽及其他电路参数。
- 波形从一种电压变至另一种电压的时间称为上升时间

上升时间通常在过渡的10%至90%处



## 上升延时与带宽的关系

- 测量仪表的带宽将影响脉冲和方波的上升时间，上升时间和带宽的关系由下式决定：

$$T_{上升} = 0.35/BW$$

BW=带宽（-3dB时的频率）（单位Hz）

- 波形从最小值过渡到最大值越快，所含谐波就越多，波形所含的频率量也越高。
- 仪表的上升时间应小于被测量信号波形的上升时间。

测量所得的上升时间 = 信号上升时间<sup>2</sup> + 测量仪表上升时间<sup>2</sup>

## 波形上升时间与测量精度的关系

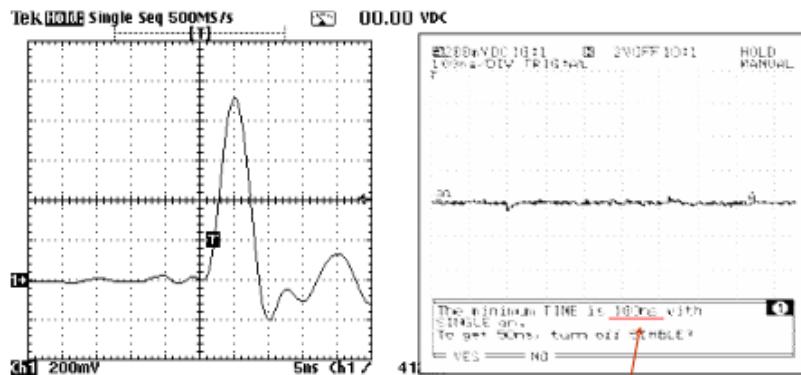


信号上升时间仪表上升时间之比	上升时间测量精度%
1:1	41%
2:1	22%
3:1	12%
4:1	5%
5:1	2%
7:1	1%
10:1	0.5%



## 采样原理及应用

## 采样率对单次信号的捕获的影响



泰克公司数字实时采样技术  
轻易地捕捉到5ns的毛刺

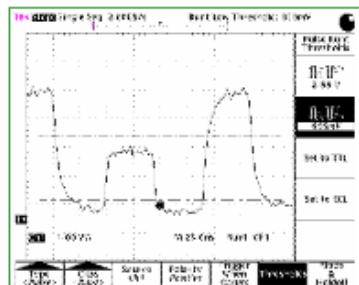
最小水平时基为100ns，即未能  
对单次毛刺进行捕捉

## 单次信号的捕获应用广泛

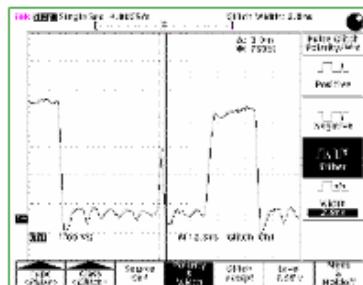


实际工作中，比如：冲击电流、破坏性试验的捕捉和测量，对欠幅脉冲、单脉冲、毛刺、电源中断、电压击穿、开关特性等等瞬态信号和非重复信号进行捕捉和分析，这些都是每天都要面对的。

(稳态和瞬态的分析)



欠幅脉冲捕捉

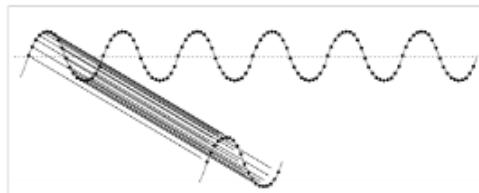


毛刺捕捉

## 数字实时采样技术



只需一次触发已采集信号所有资料



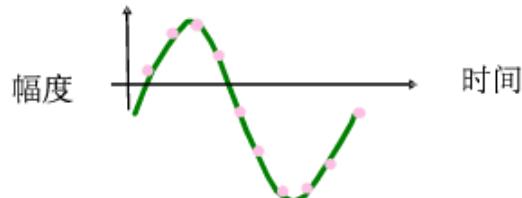
Digital Real-Time Sampling: Each waveform cycle produces more than enough data points to build a full record (screen display)

- ◆ 实时采样是最直观的采样方式，采样率超过模拟带宽4—5倍或更高。
- ◆ 重复带宽=单次带宽
- ◆ 不仅适用捕获重复信号，而且是捕捉单次信号以及隐藏在重复信号中的毛刺和异常信号的有效方法。

## 单次采集带宽



- ◆ 单次采样带宽也就是我们常说的实时带宽，它是由模拟带宽、采样率以及波形重建的方法共同决定，因此它决定了所构建的单次波形的完整性。
- ◆ 波形重建的方法主要是指波形再现的插值算法。



对于单次事件，示波器必须具有足够的采样速率用以恢复单次捕捉所获得的波形。奈奎斯特抽样定律中指出采样率至少为信号最高频率带宽的2倍从而保证信号在恢复时不发生混迭现象。

## 总结：采样率的选择



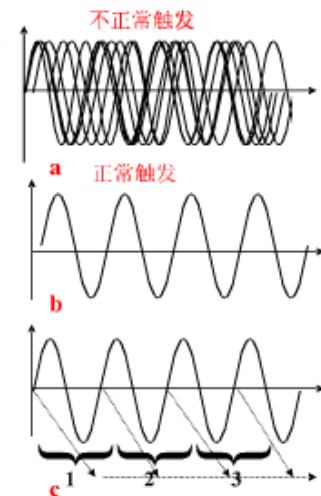
- 我们在确定示波器的带宽后，还要选择足够的采样率来与之相配合，这样才能获得适合于实际测量中的实时带宽，从而获得满意的测量结果。
- 如果在实际的测量中，比较重视单次信号的精确信息，我们建议采样率要在带宽的五倍以上，最好能在八到十倍。



## 示波器的触发和信号存储

## 示波器的触发

- ▶ 触发电路的作用就是保证每次时基在屏幕上扫描的时候，都从输入信号上与定义的触发点相同的点开始，这样每一次扫描的波形就同步的，从而显示稳定的波形，见图b/c；没有触发电路在屏幕上看到的将会是具有随机起点的很多波形杂乱重叠的图象，见图a。
- ▶ 触发是使用示波器最麻烦的一点，示波器提供了许多触发方式，可根据测量问题加以应用。
- ▶ 作为数字示波器来说，触发实际上参与了确定波形的存储起点。

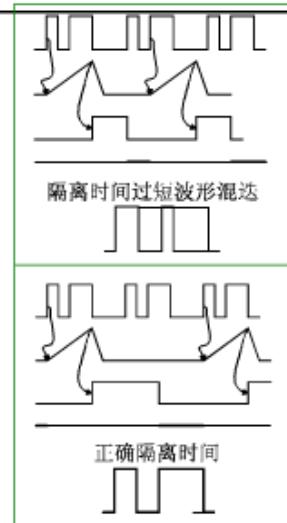


## 触发耦合

- ▶ 触发耦合：触发信号与触发电路的耦合方式
  - 默认时为DC耦合，触发源直接连到触发电路
  - 交流耦合：触发源通过一个串联的电容连到触发电路
  - HF抑制：使触发源信号通过低通滤波器以抑制高频分量，这意味着即使一个低频信号中包含很多高频噪声，仍能使其按低频信号触发。
  - LF抑制：使触发源信号通过一个高通滤波器以抑制其低频成分，这对于显示包含很多电源交流声的信号时的情况是很有用的。
  - TV触发：在TV模式下触发电平控制不起作用。这时示波器使用视频信号中的同步脉冲作为触发信号。TV触发有两种模式，TVF场和TVL行
  - 数字示波器的高级触发功：单次、毛刺、宽度、欠幅脉冲、斜率、建立/保持逻辑（定时关系和状态分析）TV（可选场/行和行计数）

## 触发隔离（Hold off）

- ▶ 有些信号具有多个可能的触发点，如右图数字信号。  
该信号虽然在较长的时间周期内是重复的，但是在短时间内情况则不然，这样一来，正常触发扫描出的波形出现混迭。
- ▶ 为解决这个问题，采用了触发隔离功能，即在各次扫描之间加入延迟时基，使得扫描的每次触发总是从相同的信号沿开始。从而得到稳定的波形显示。
- ▶ 另一方面，触发隔离的使用显然在波形捕获方面遭到了损失。

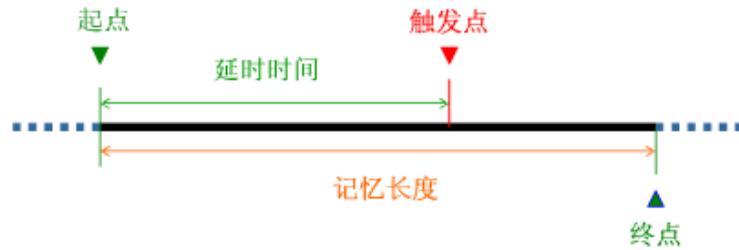


## 记录长度

- ▶ 定义：  
一个波形记录是指可被示波器一次性采集的波形点数。
- ▶ 最大的记录长度由示波器的存储容量决定，要增加存储容量才能增加记录长度。
- ▶ 记录长度和观看波形细节有关：

## 波形的存储

- ▶ 示波器的存储由两个方面来完成：
  - 触发信号和延时的设定确定了示波器存储的起点；
  - 示波器的存储深度决定了数据存储的终点。
- ▶  $\text{记录时间} = \text{记录长度} / \text{采样率}$

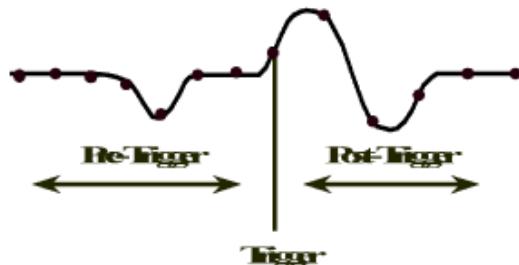


## 记录长度的计算

- ▶  $\text{记录时间} = \text{记录长度} / \text{采样率}$
- ▶ 举例：TDS3012B，记录长度10K约为10000点
- ▶ 时基与采样率的关系

## 预触发/后触发

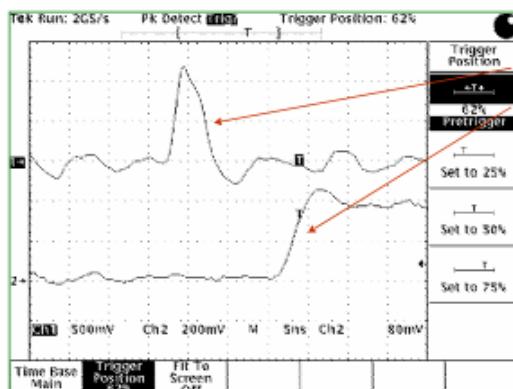
- 采样点数字化
- 时间等间隔
- 可选的预/后触发



数字示波器的一个最显著特点在于它容许用户观看触发前的事件。这是因为数据被连续地存储到内存中，同时触发事件在数据量足够后停止采集。

## 预触发

捕捉毛刺



- 毛刺
- 预触发
- 单次采样

触发

## 数字示波器的高级触发功能

- 高级触发功能的模式，主要针对数字信号：
  - 首先，对偶尔出现问题的信号现象进行预测；
  - 确定脉冲的受限状态况，以及安排用一个脉冲，或者是与这些状况相匹配的脉冲来触发。
- 具体形式有：
  - 脉冲宽度触发；
  - 矮脉冲触发；
  - 脉冲斜率触发；
  - 逻辑触发
  - 建立/保持时间触发.....

## 数字示波器滚动模式

- 滚动模式是一种可以应用于全连续显示的方式

在这种模式下，示波器采集采样点并立即将采集的数据复制到显示存储器。而这些新的采样点显示于屏幕的右面，屏幕上已有的波形则向左滚动。老的采样点一但移到屏幕左面即行消失。这样一来屏幕上显示的波形总是反映出最新信号对时间变化的情况。
- 由于有了滚动模式，就可以用示波器来代替图表记录仪来显示慢变化的现象，如化学过程、电池的冲放电周期或温度对系统性能的影响等。