

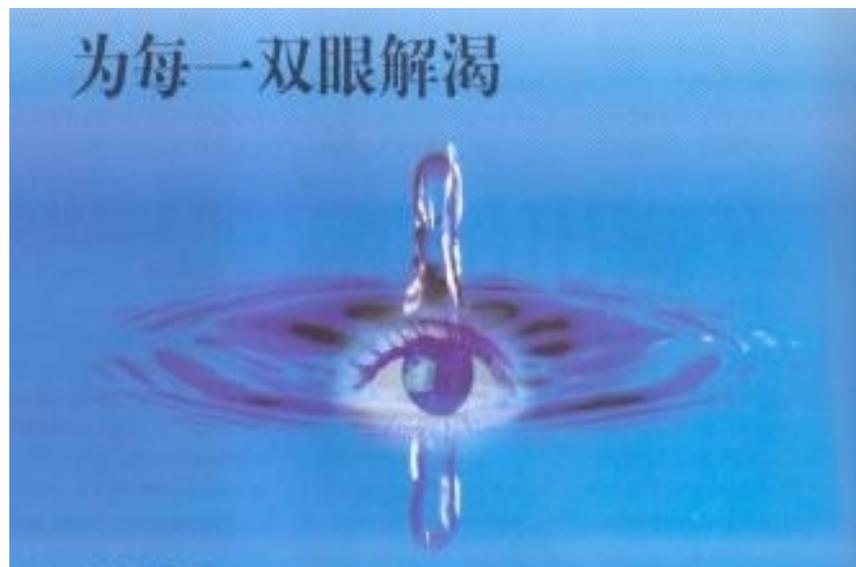
# 示波器基础

北京东方中科集成科技企业  
深圳分企业

# 提要

- 1、示波器基础
- 2、触发功能简介
- 3、现场试验

示波器的首要条件  
精确地显示波形  
确保信号完整性测量



按需选择

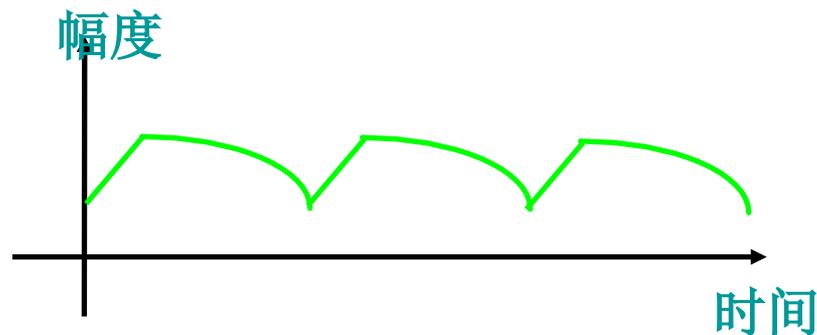


依用而得

www.jicheng.net.cn

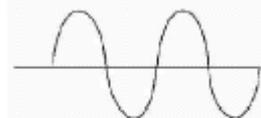
# 什么是示波器

- 示波器是形象地显示信号幅度随时间变化的波形显示仪器，是一种综合的信号特征测试仪，是电子测量仪器的基本种类
- 示波器的用途：
  - 电压表，电流表，功率计
  - 频率计，相位计
  - 脉冲特征，阻尼振荡
- 示波器的应用：
  - 电子，电力，电工
  - 压力，振动，声，光，热，磁

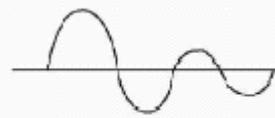


# 波的类型

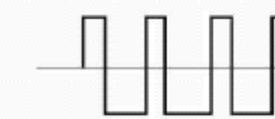
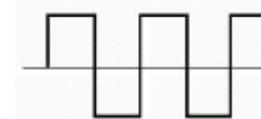
- 大多数波都属于如下类型：
  - 正弦波
  - 方波和矩形波
  - 三角波和锯齿波
  - 阶跃波和脉冲波
  - 噪声波、复杂波
- 诸多波是上述波形的组合
- 周期信号和非周期信号
- 同步信号和异步信号



正弦波



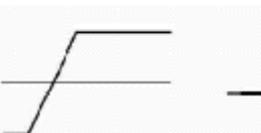
衰减的正弦波



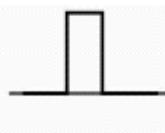
锯齿波



三角波



阶跃波



脉冲波



脉冲序列



复杂波

按需选择

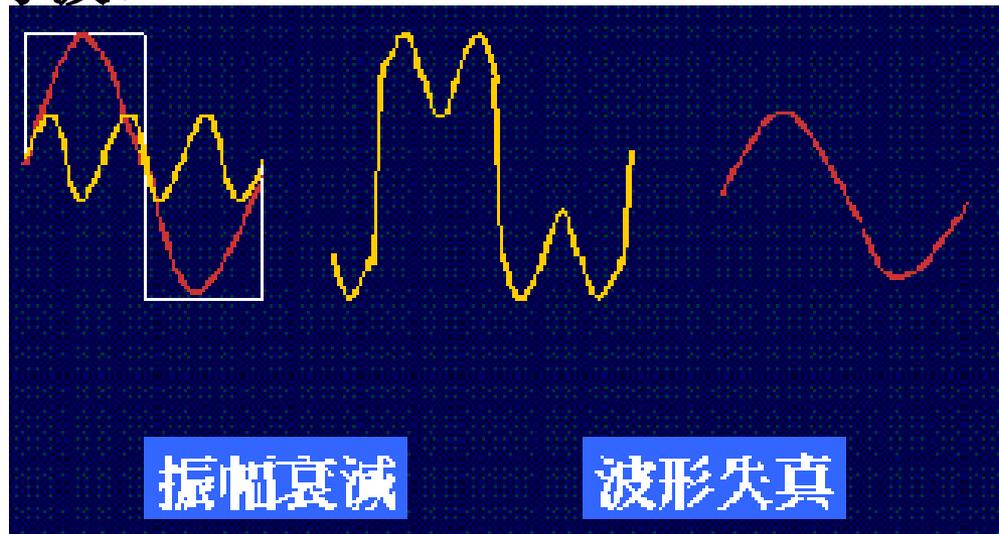


依用而得

www.jicheng.net.cn

# 正弦波是波形的基本波

- 非正弦波是由基波加无多次谐波所构成。包括的谐波越多，波形越近似方波。



例：100M方波是由3次、5次、7次.....合成，3次谐波频率为300M、5次谐波频率为500M.....

- 对于非正弦波波形，波形从最小值过渡到最大值越快，所含谐波就越多，波形所含的谐波频率的分量也越高。
- 对于脉冲波占空比越小，波形所含谐波就越多，谐波频率分量也越高。

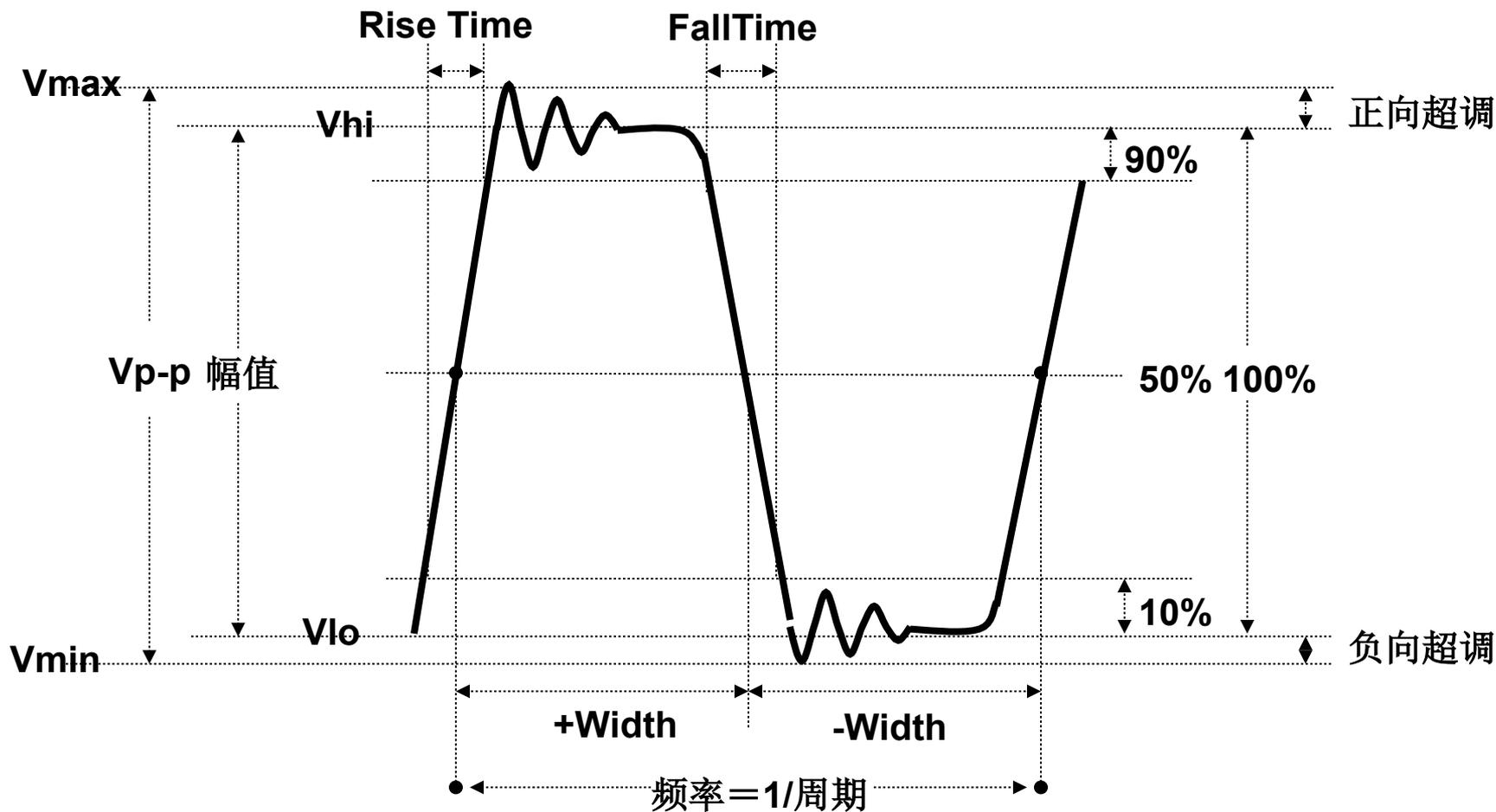
# 波形的主要谐波

- 非正弦波是由屡次,按不同频率不同相位和不同幅度的正弦波构成的合成波,谐波是基波的倍数。
- 列出的是影响波形变化的谐波次数, (考虑谐波分量为基波幅度10%以上的谐波, 是对波形形状影响较大的原因)
- 

波 形	主要谐波数
正弦波 ( 正弦波基波为: 1 )	1:1
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

- 谐波数为基波的倍数
- 在没有边沿时间信息, 只有信号频率和波形类别信息, 我们希望所观察到的波形有精度不失真, 能够使用倍数的措施选择示波器带宽。

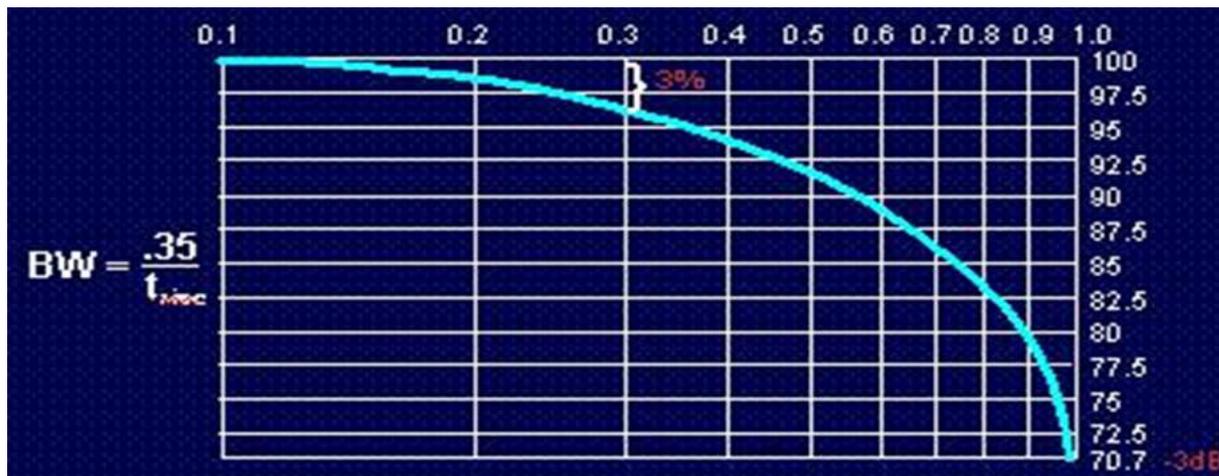
# 波形的测量参数

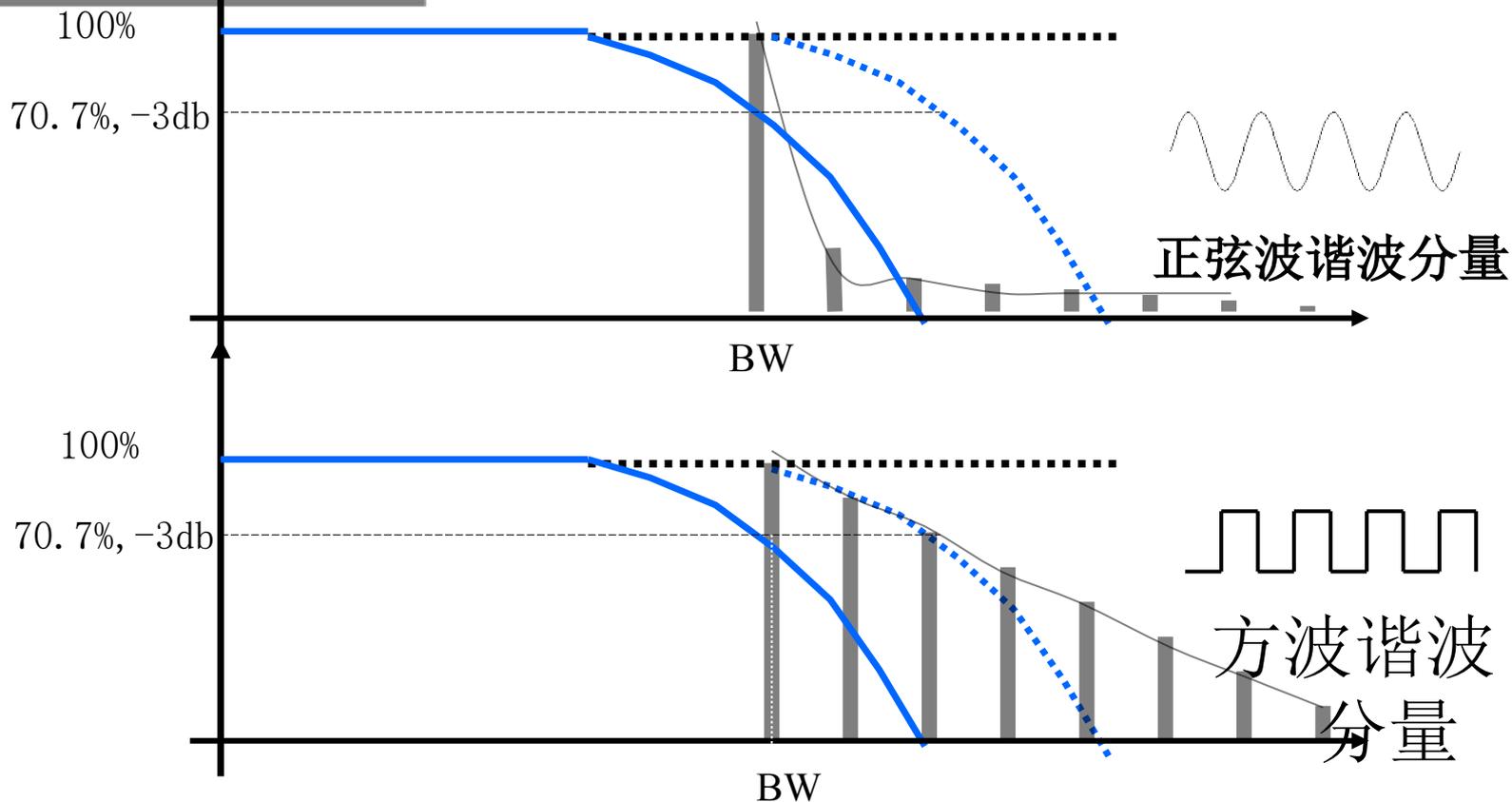


- 示波器主要技术指标一是确保示波器精确显示信号波形的前提条件
  - 示波器的带宽
  - 数字示波器采样率
  - 示波器存储长度
  - 波形捕获率（先进的DPO）
- 示波器主要的功能一是确保示波器稳定、捕获和显示波形的必要条件
  - 垂直
  - 水平
  - 示波器的触发
  - 与外部设备的互联能力
  - 数据的处理技术与能力

# 带宽是示波器的首要规格参数

- 示波器的构造决定了带宽的主要性：
  - 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。示波器所谓带宽是指：
- 垂直放大器的频率响应，定义为：伴随正弦波频率增长，信号幅度下降3dB（70.7%）。在此频点为示波器的带宽





注意：示波器带宽或上升时间与信号频率或上升时间一样时，会对波形幅度和上升时间产生影响，带来测量误差，如降低测量误差只能提升延伸示波器带宽。

# 示波器测量系统带宽

- 探头也是仪器，它和示波器共同构成测量系统。这一系统带宽将影响被测信号如正弦波、脉冲和方波的幅度和上升时间的测量精度，假如探头选择不当，你将冒无法预知测量成果的风险。探头和示波器上升时间和带宽的关系由下式决定：

探头、示波器  $T_{\text{上升}} = 0.35/BW$ （适合于1G下列示波器）

$BW = \text{带宽（-3dB时的频率）（单位Hz）}$

测量所得的上升时间 =  $\sqrt{\text{信号上升时间}^2 + \text{测量系统上升时间}^2}$

仪器测量系统上升时间 =  $\sqrt{\text{探头上升时间}^2 + \text{测量仪表上升时间}^2}$

- 探头的上升时间应快于示波器的上升时间（泰克非常精细的匹配示波器的系统带宽）
- 示波器的上升时间应快于被测量信号的上升时间。
- 例：使用100Mhz探头和100Mhz示波器构成测量系统，测量上升时间为3.5ns的方波信号，系统带宽为多少？测量误差是多少？
  - 系统上升时间 =  $\sqrt{3.5\text{ns}^2 + 3.5\text{ns}^2} = 4.95\text{ns}$ ，系统带宽 =  $0.35/4.95\text{ns} = 70\text{Mhz}$
  - 显示信号上升时间 =  $\sqrt{3.5\text{ns}^2 + 4.95\text{ns}^2} = 6.08\text{ns}$ ，测量误差 =  $(6.08-3.5) / 3.5 = 73\%$
- 使用100Mhz示波器及不当的100Mhz探头，将造成测量系统带宽性能降低100Mhz下列
- 示波器带宽是应包括探头和示波器整个测量系统的问题，泰克企业承诺指定示波器的带宽（上升时间），是当使用原配探头时，是探头尖的上升时间（示波器带宽）。

- 测量系统的带宽将影响脉冲和方波的上升时间，示波器系统上升时间和带宽的关系由下式决定：

示波器测量系统  $T_{\text{上升}} = 0.35/BW$ （适合于1G下列示波器）

$BW$ =带宽（单位Hz）（-3dB时的频率）

- 示波器系统的上升时间应快于被测量信号波形的上升时间。

仪器显示的信号上升时间 =  $\sqrt{\text{被信号上升时间}^2 + \text{仪表系统上升时间}^2}$

- 例：100Mhz正弦波使用100Mhz的示波器系统进行测量，根据幅频特征可得测量显示的信号与被测信号的误差为30%。
- 例：一种100Mhz方波上升时间为3.5ns的信号，使用100Mhz的示波器系统进行测量，根据上述公式计算显示信号与被测信号的误差为：
  - 100Mhz示波器上升时间 =  $350/100\text{Mhz} = 3.5\text{ns}$
  - 仪器显示的信号上升时间 =  $\sqrt{3.5\text{ns}^2 + 3.5\text{ns}^2} = 4.95\text{ns}$
  - 测量误差 =  $(4.95\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.414 = 41\%$
- 改善和提升测量精度只能提升示波器系统带宽，如选择比信号上升时间高5倍的示波器，测量误差为：500Mhz示波器系统上升时间为 =  $350 / 500\text{Mhz} = 0.7\text{ns}$ 
  - 仪器显示的信号上升时间 =  $\sqrt{3.5\text{ns}^2 + 0.7\text{ns}^2} = 3.569\text{ns}$
  - 测量误差 =  $(3.569\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.0198 = 2\%$ （选择示波器的5倍法则）

注意：示波器系统带宽不足引起上升时间慢和异常幅度衰减

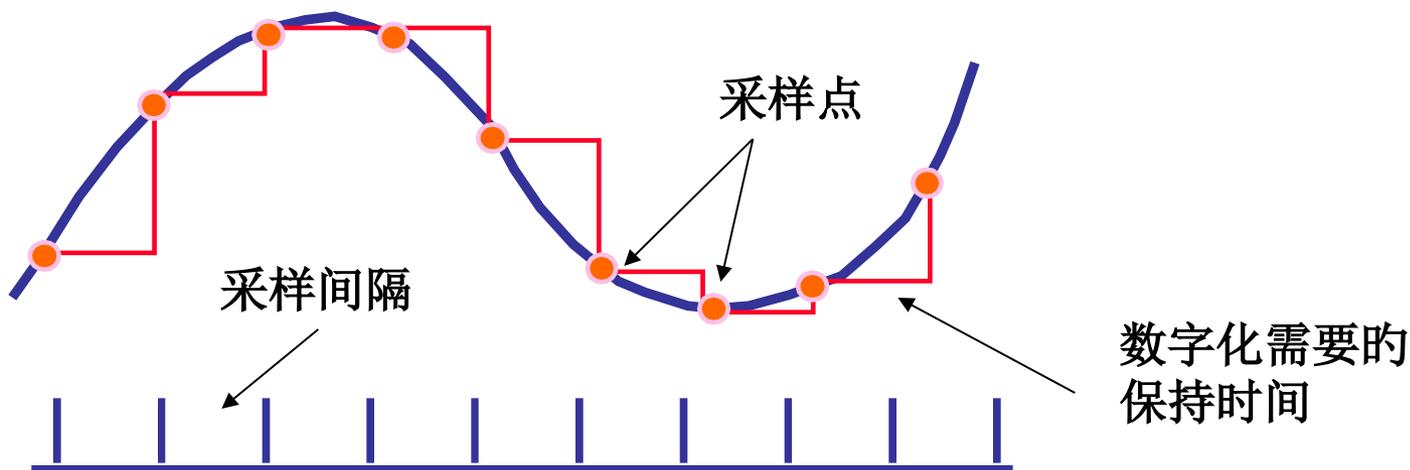
# 示波器带宽总结

- 示波器带宽是由放大器模拟带宽决定。示波器带宽是应涉及探头和示波器整个测量系统的问题，是涉及探头的系统带宽。泰克企业承诺指定的示波器带宽（上升时间），是当使用原配探头时，探头尖的上升时间（示波器带宽）。
- 示波器系统带宽不足，会引起上升时间慢和异常幅度衰减
- 为了取得正确的振幅测量，示波器的带宽应该比被测量的波形的频率大5倍。为了合理精确地测量波形的上升或下降时间，示波器必须有足够的上升时间。

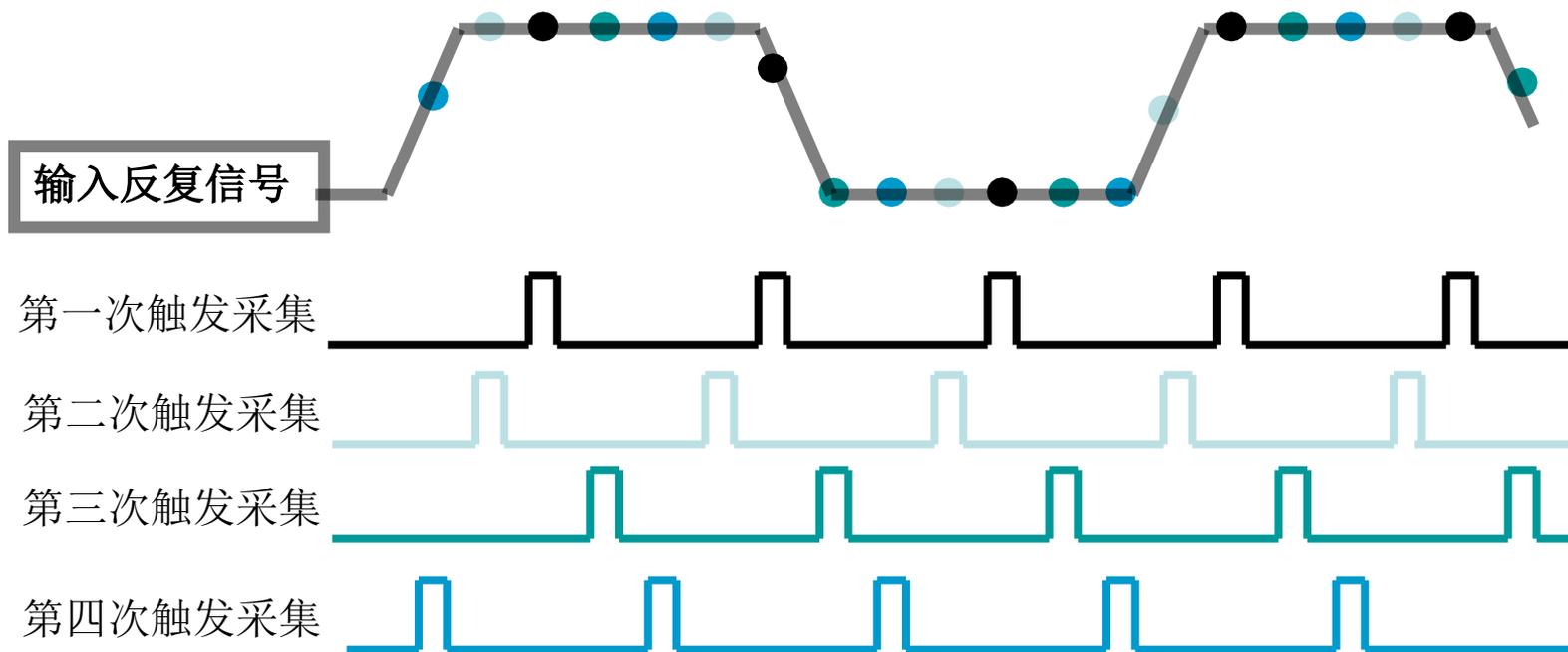
仪表上升时间： 信号上升时间                      信号上升时间读值测量误差

之比	%
1:1	41%
2:1	22%
3:1	12%
4:1	5%
5:1	2%
7:1	1%
10:1	0.5%

- 采样是等间隔地进行；
- 采样率以“点/秒”来表达。
- 实时采样、随机等效采样、顺序等效采样方式



# 随机数字等效采样技术

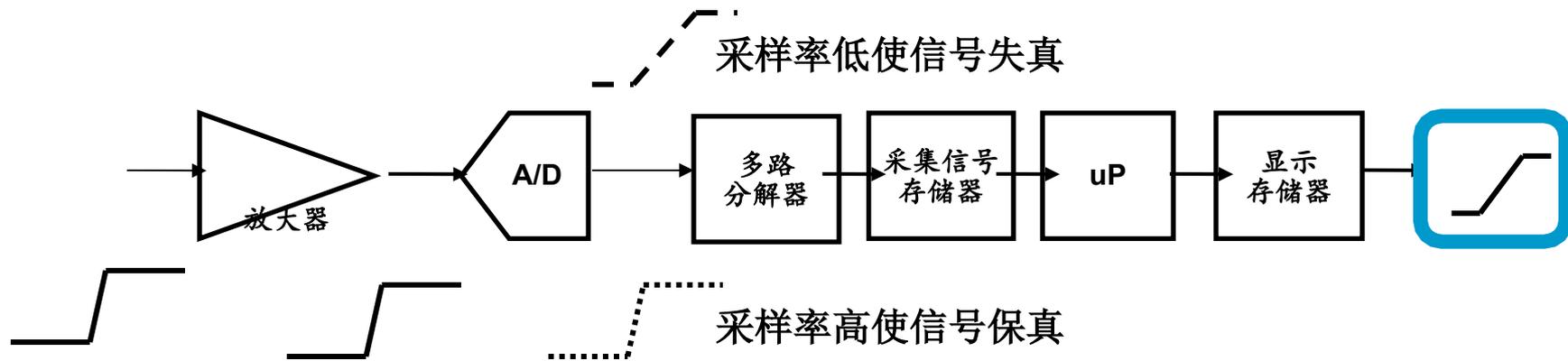


- 需要经过屡次次触发才干采集到信号的全部资料
- 对信号的要求：信号必须反复而且稳定，如信号变化（如幅度）将造成显示混乱。
- 等效技术示波器，只合用捕获反复稳定信号，对捕获非反复信号和单次信号的能力。以及是捕获隐藏在反复信号中的毛刺和异常信号的能力。将受到实时采样率的限制。
- 示波器标定带宽 = 反复信号带宽 > 瞬态（单次）信号带宽。

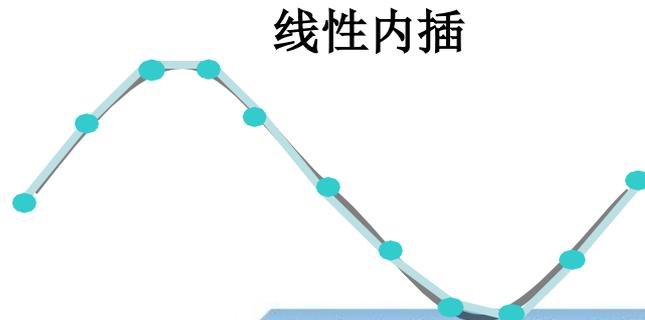
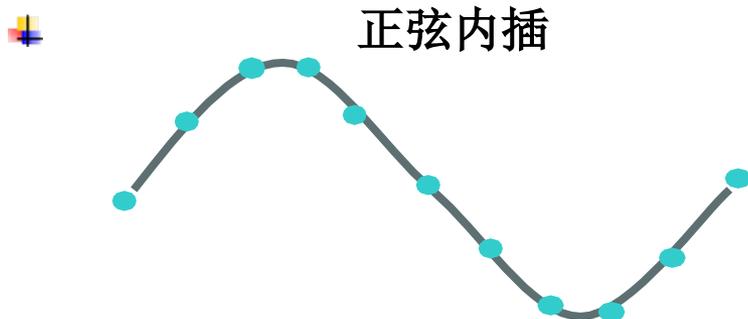
*以较低的A/D对信号采集, 将屡次触发采集到的资料进行重组, 实现对反复信号的捕获和显示。*

# 采样率对单次信号采集

- 数字示波器不但用于观察反复信号，同步需要观察单次事件信号。虽然示波器放的大器带宽确保了信号输入不失真。如采样率不足会造成显示信号漏失和失真。所以示波器必须具有足够的采样速率，用以捕获单次信号和精确恢复显示波形。
- 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倍以上，从而确保信号在恢复时不发生混迭现象和失真的情况发生。

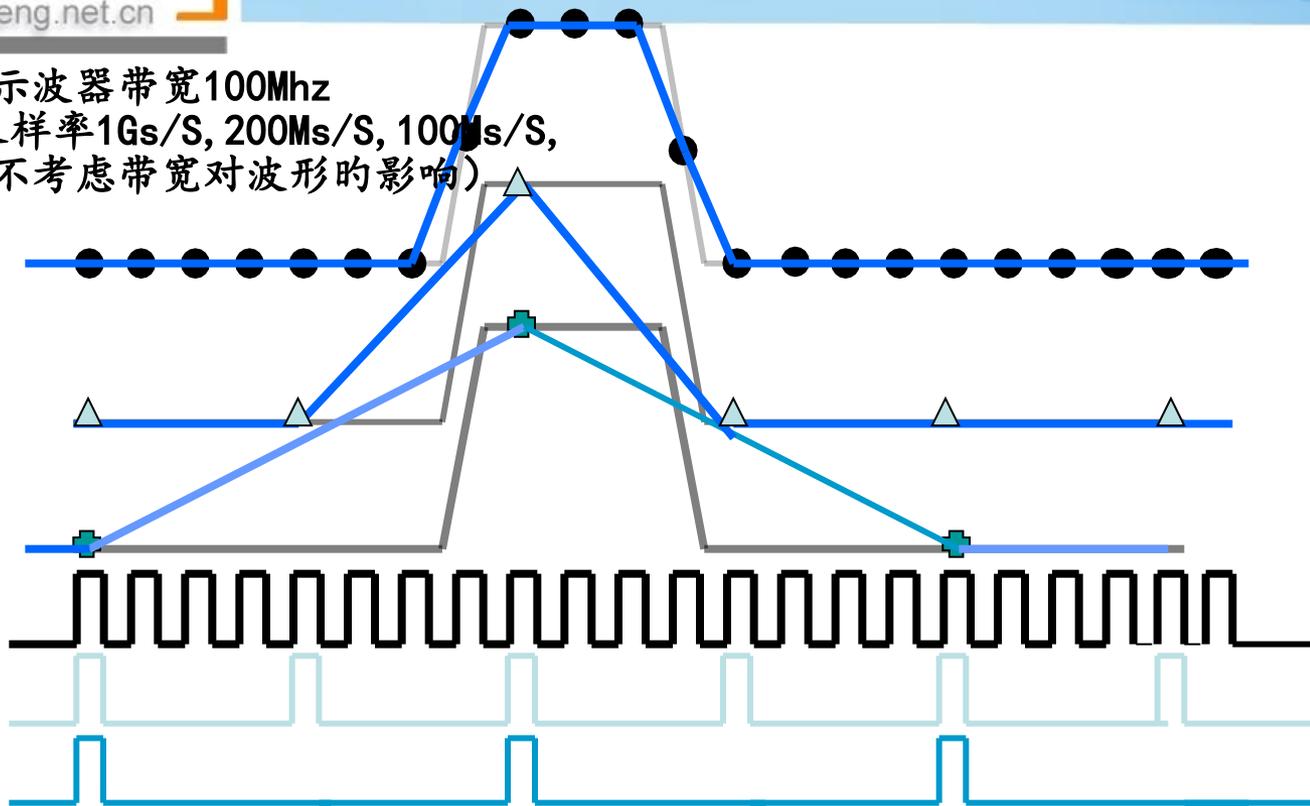


- ✚ 单次采样带宽也就是常说的实时带宽，它是由模拟带宽、采样率以及波形重建的措施共同决定，所以它决定了所构建的单次波形的完整性。
- ✚ 波形重建的措施主要是指波形再现的插值算法。
  - ✚ 线性内插：在相邻采样点直接连接上直线，局限于直边沿信号。
  - ✚ 正弦内插： $(\sin X/x)$  利用曲线来连接样点，通用性更强。它利用数学处理，在实际样点间隔中运算出成果。这种措施弯曲信号波形，使之产生比纯方波和脉冲更为现实的一般波形。泰克企业采用的是  $\sin x/x$  正弦内插发复现信号。
- ✚ 内插系数：泰克企业的内插系数为2.5, 采用5倍以上示波器带宽的采样率是为提升信号的保真
  - ✚ 使用正弦内插，一般采用内插系数为5计算示波器的单次信号带宽。单次带宽=实时采样率/5（内插系数）。使用线性内插，一般采用内插系数为10计算示波器的单次信号带宽。单次带宽=实时采样率/10（内插系数）。



# 示波器采样率决定

例：示波器带宽100Mhz  
采样率1Gs/S, 200Ms/S, 100Ms/S,  
(不考虑带宽对波形的影响)

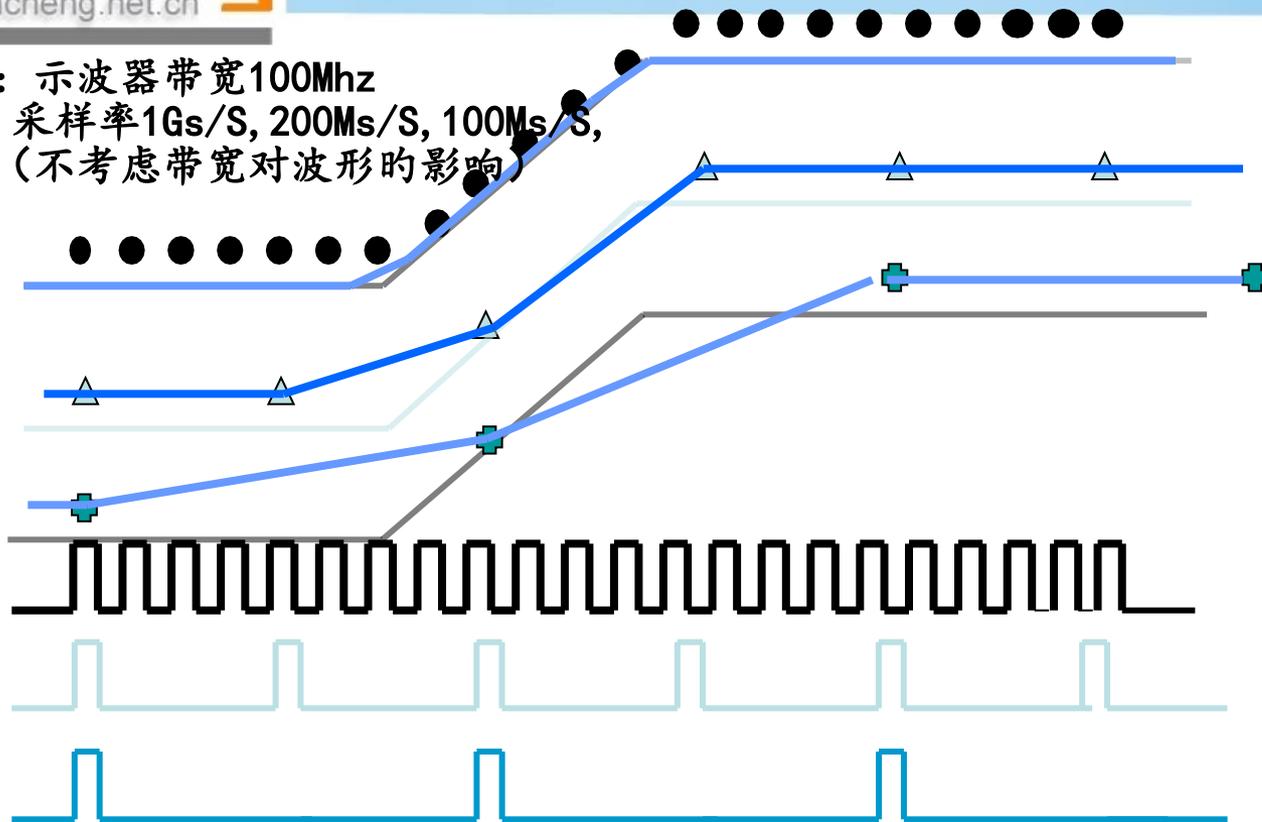


- 示波器带宽选定后，采样率决定了单次带宽。单次带宽决定示波器对毛刺和单脉冲信号的捕获能力和复现能力，也决定了示波器检测反复信号中异常信号和随机毛刺信号的捕获能力。

**窄脉冲和毛刺信号精确捕获和复现能力只有信号速度在单次带宽的范围内，对捕获信号才干精确复现**

# 示波器采样率决定

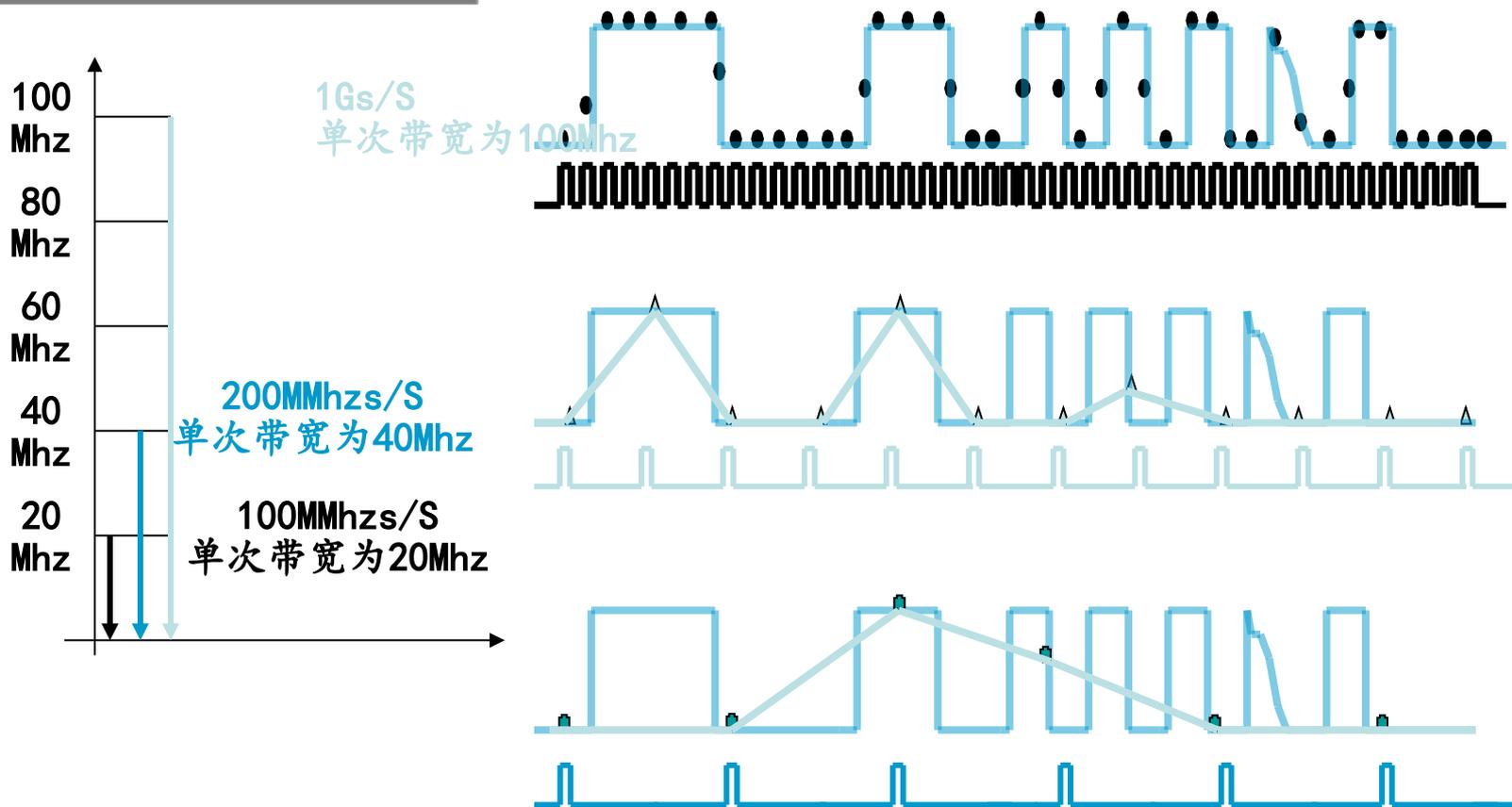
例：示波器带宽100Mhz  
采样率1Gs/S, 200Ms/S, 100Ms/S,  
(不考虑带宽对波形的影响)



- 示波器带宽选定后，采样率决定单次带宽。单次带宽决定示波器对阶跃、单次信号中的快沿的捕获和复现能力，也决定了示波器对检测，低反复率信号的上升和下降沿捕获能力。

**单次事件信号沿的精确捕获和复现能力只有信号速度在单次带宽的范围内，对捕获信号才干精确复现**

# 示波器采样率决定

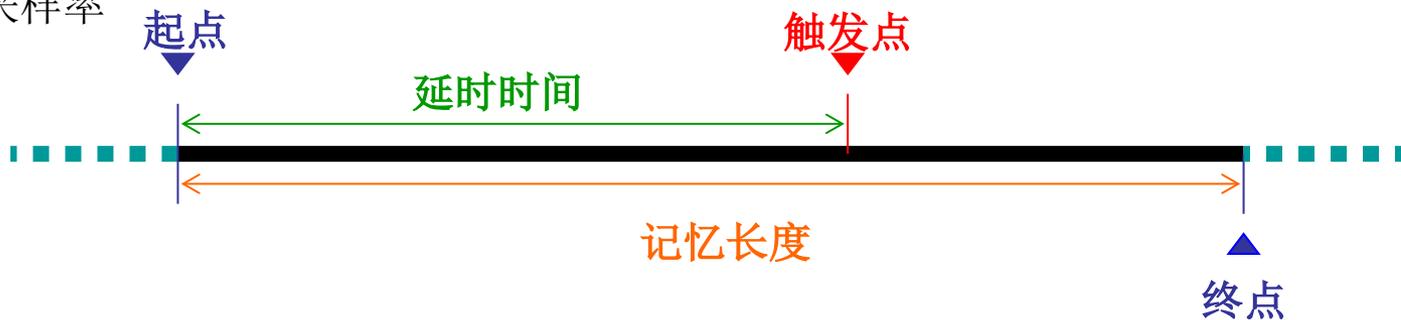


脉冲序列精确复现能力，只有信号速度在单次带宽的范围内，对捕获信号才干精确复现

# 总结：采样率的选择

- 我们在拟定示波器的带宽后，还要选择足够的采样率来与之相配合，这么才干取得适合于实际测量中的实时带宽，从而取得满意的显示和测量成果。
- 示波器采样率不足，将会使信号失去高频成份，影响对信号的完整性测量。如：使信号上升和下降时间变慢，或造成波形漏失。
- 假如在实际的测量中，比较注重单次信号的精确信息，我们提议采样率要在带宽的五倍以上，最佳能在八到十倍

- 定义：一种波形统计是指可被示波器一次性采集的波形点数
  - 最大统计长度由示波器的存储容量决定，要增长存储容量才干增长统计长度
  - 是为捕获和显示单次信号过渡过程提供的主要指标
- 示波器的存储由两个方面来完毕：
  - 触发信号和延时的设定拟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。
- 统计时间 = 统计长度 / 采样率
  - 因为时基和采样率是联动的，所以时基的速度快慢将同步变化采样率的高下。当采样率到达指标定义最高速率时，加紧基速度的调整，采样率将不能加紧。
  - 时基与采样率的关系应为：存储深度（点） $\div$ 时间/格 $\times 10$  = 采样间隔。 1/采样间隔 = 采样率



按需选择



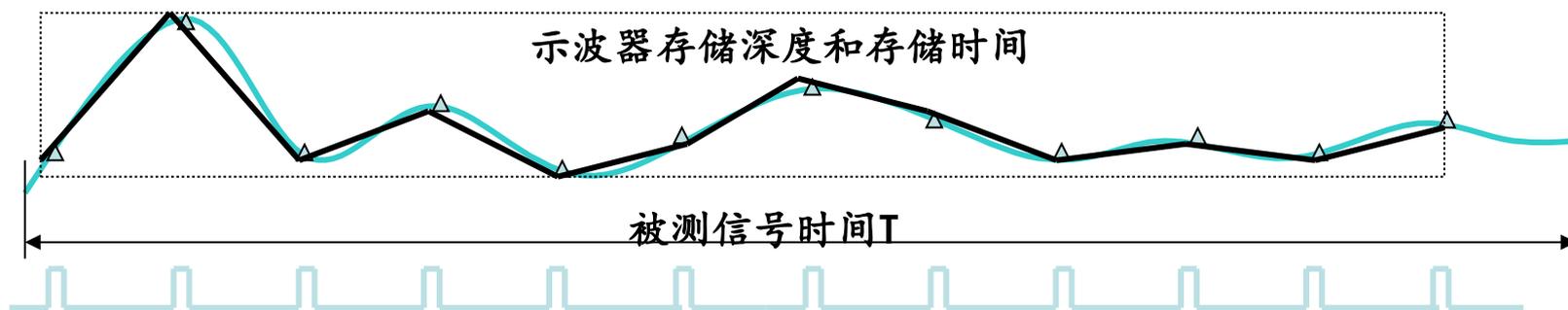
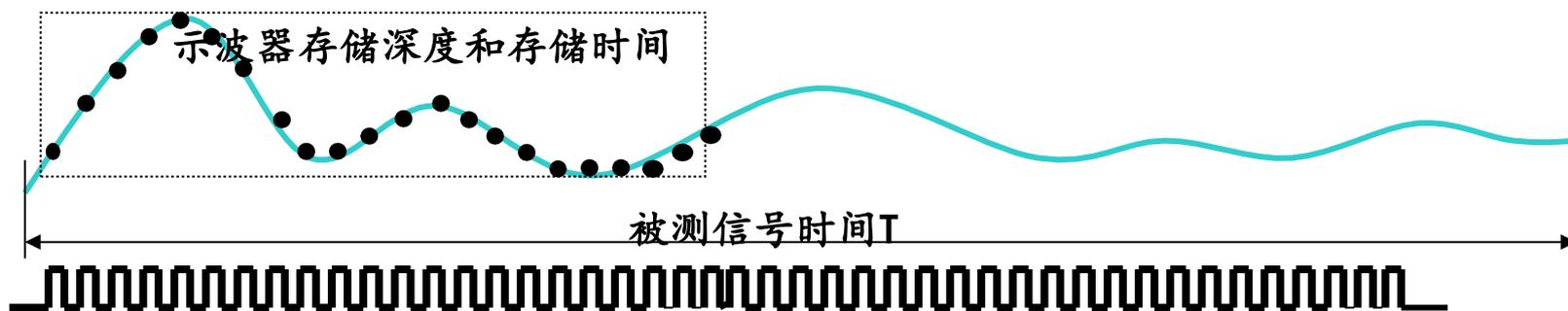
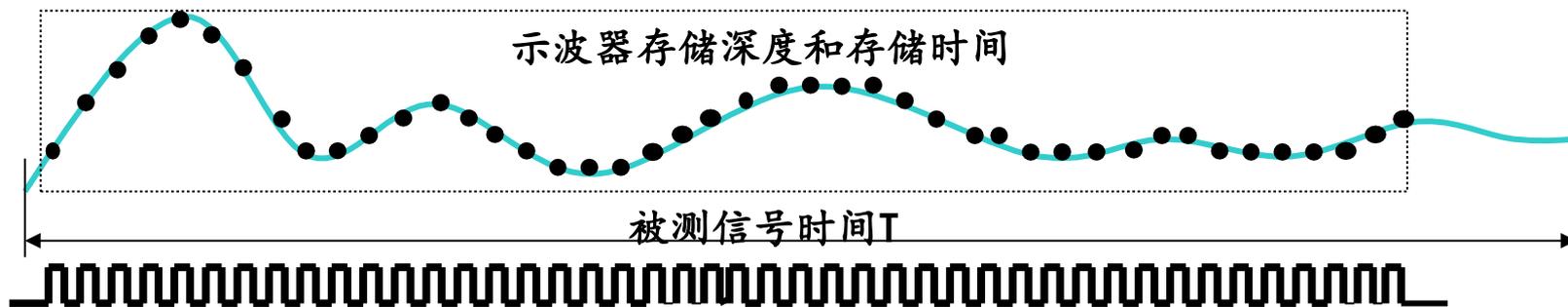
依用而得

www.jicheng.net.cn

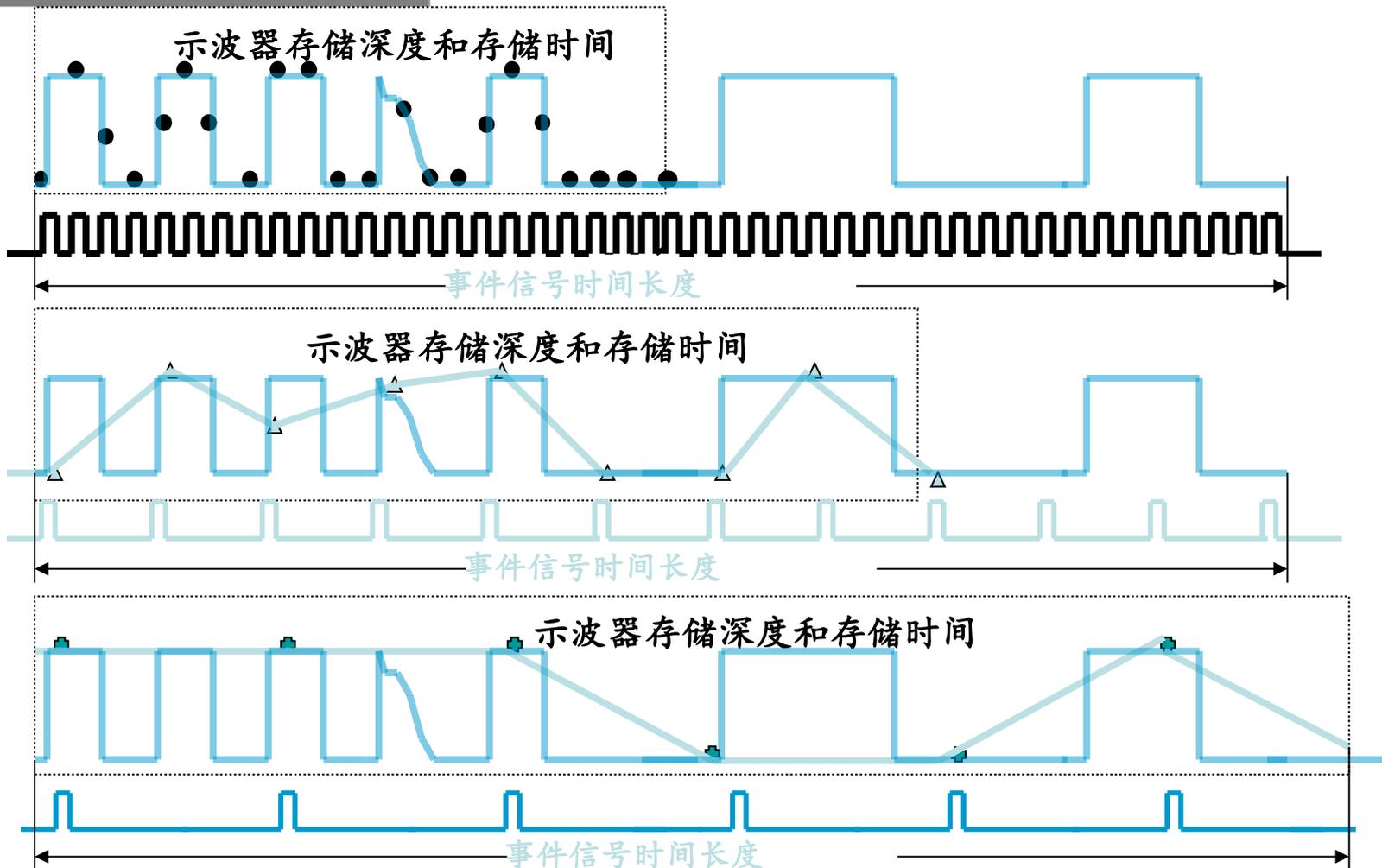
# 采样率与存储深度的关系

- 示波器最高采样率决定示波器单次带宽的限制，为确保波形精确复现提议：正弦内插技术示波器以： $\text{采样率} / 5 = \text{单次带宽}$ 的公式计算单次带宽，线性内插技术示波器以： $\text{采样率} / 10 = \text{单次带宽}$ 公式计算。
- 采样率不足将限制示波器单次带宽。假如示波器在全带宽范围内，对单次信号实现捕获和精确复现。只有采样率高于示波器带宽5倍以上（正弦内插），才干使示波器的反复信号带宽 = 单次信号带宽。
- 示波器存储长度对波形的统计是以波形精确捕获为前提。
  - 当信号频率或速度超出单次带宽的限制（信号不能重组），虽然示波器带宽对信号不产生影响，但因为采样不足将造成显示信号的混叠、畸变和漏失。就是示波器有在长的存储，存储的波形也是畸变的失真波形。
  - 当单次信号中的高频成份，低于示波器的单次带宽，才干确保信号的高频细节。此时存储长度越长，波形统计时间越长。存储深度短，将丢失波形部分时间的信息。

# 采样率、单次带宽与存储深度对波形限制



# 采样率、单次带宽与存储深度对波形限制



- 示波器带宽、单次带宽和统计长度对被测波形显示的影响：
  - 单次带宽对单次信号的精确复现起到限制作用。对单次事件和脉冲串等非反复信号，以及对反复信号中的异常信号进行捕获时，如采样率不符合捕获信号速度的要求，将造成复现的信号会失去高频成份。显示的信号与被测信号相比，上升和下降时间变慢，或高频脉冲信息漏失，影响信号完整性测量。在这种情况下不论示波器的存储深度有多长，已没有实际意义。
  - 在确保对单次信号进行精确捕获前提下，示波器存储深度越长，波形的存储时间就越长。
  - 因为示波器存储深度有限。使用的不是示波器最高采样率，对单次信号进行捕获时。提升采样率能够提升对信号的捕获精度和辨别率。但降低了存储信号的时间。
  - 采样率和存储深度有限，提升存储时间只能降低采样率，但降低采样率将失去波形的细节同步失去快沿信号的高频成份使上升时间变慢。
  - 如单次信号时间较长，要确保信号中高频信息不丢失（信号漏失和畸变）。需要我们综合考虑示波器带宽、采样率和存储长度等指标，以确保被测信号的精确复现。
  - 示波器的捕获率和触发功能、能够优化示波器的存储深度和采样率。

- 1、示波器基础
- 2、触发功能简介
- 3、现场试验

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/258001040010006132>