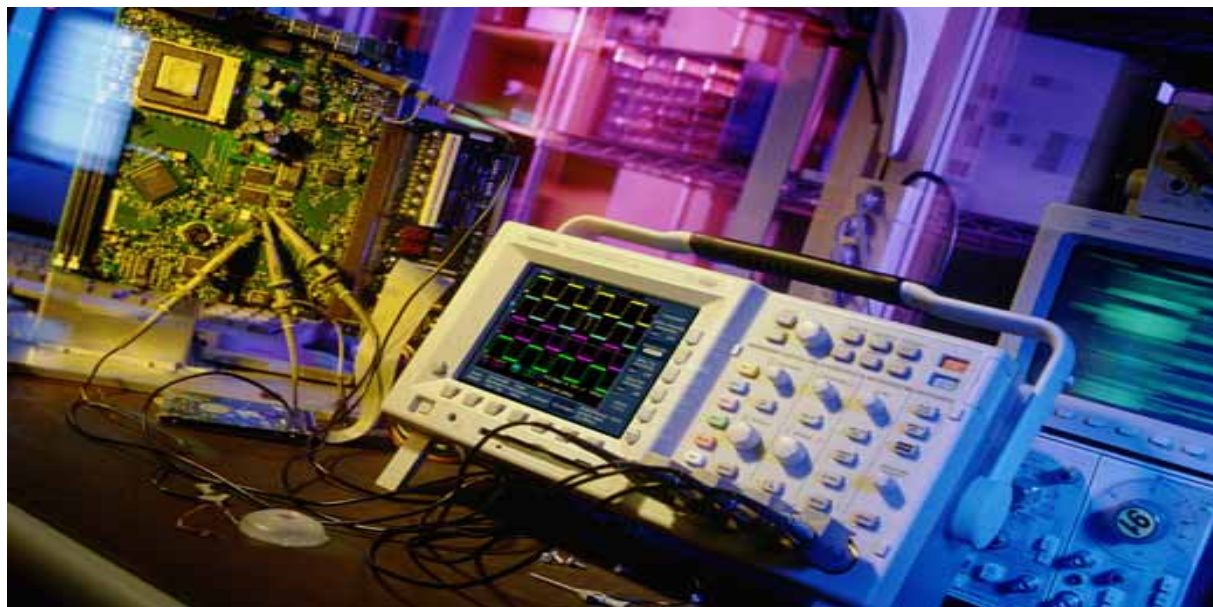




数字存储
示波器

示波器应用基本知识

以TDS3000B产品的基本功能为基础



常用电子仪器介绍

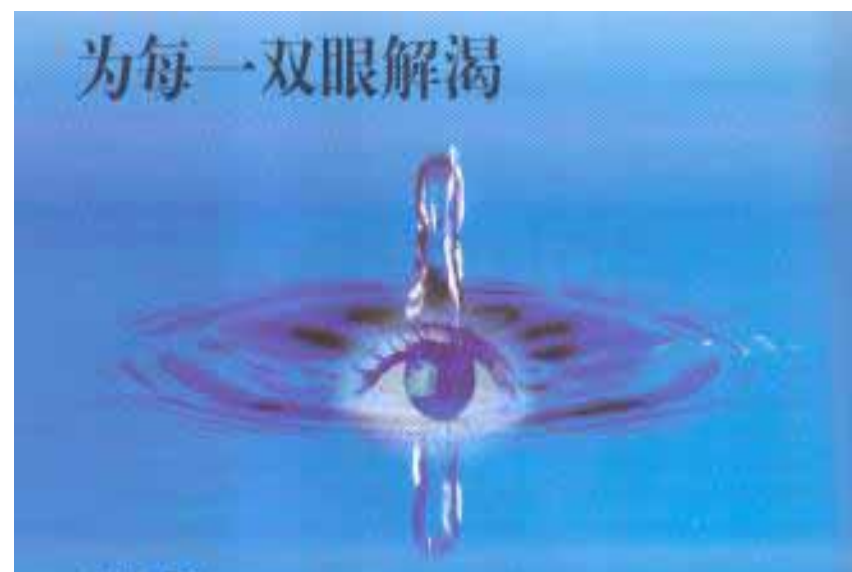
示波器 - 电子工程师的眼睛



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

示波器的首要条件
准确地显示波形
保证信号完整性测量



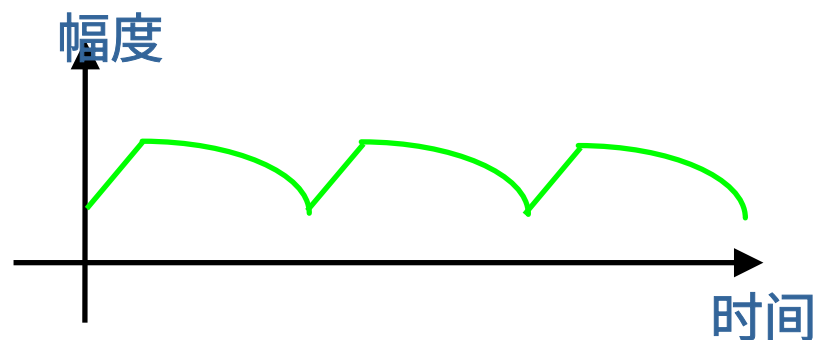
常用电子仪器介绍

什么是示波器



数字存储
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性测试仪，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
 - 脉冲特性，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



数字存储
示波器

▶ 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

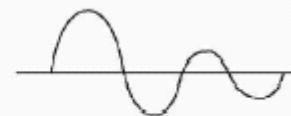
▶ 很多波是上述波形的组合

▶ 周期信号和非周期信号

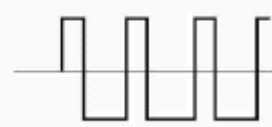
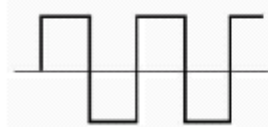
▶ 同步信号和异步信号



正弦波



衰减的正弦波



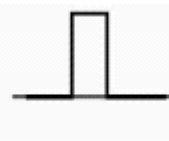
锯齿波



三角波



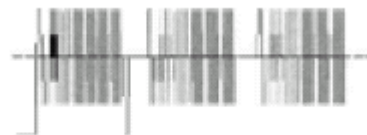
阶跃波



脉冲波



脉冲序列

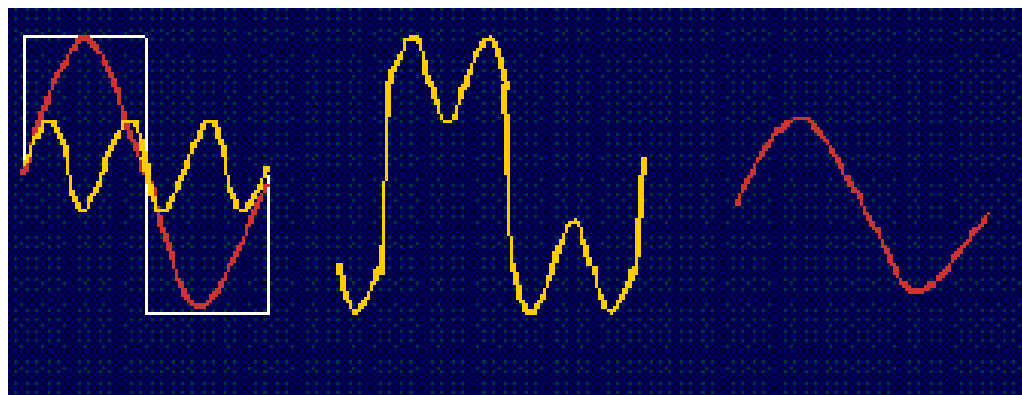


复杂波



正弦波是波形的基本波

- 非正弦波是由基波加无数次谐波所构成。包含的谐波越多，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。



波形的重要谐波

- ▶ 非正弦波是由多次按不同频率不同相位和不同幅度的正弦波组成的合成波，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因素）

波 形	重要谐波数
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

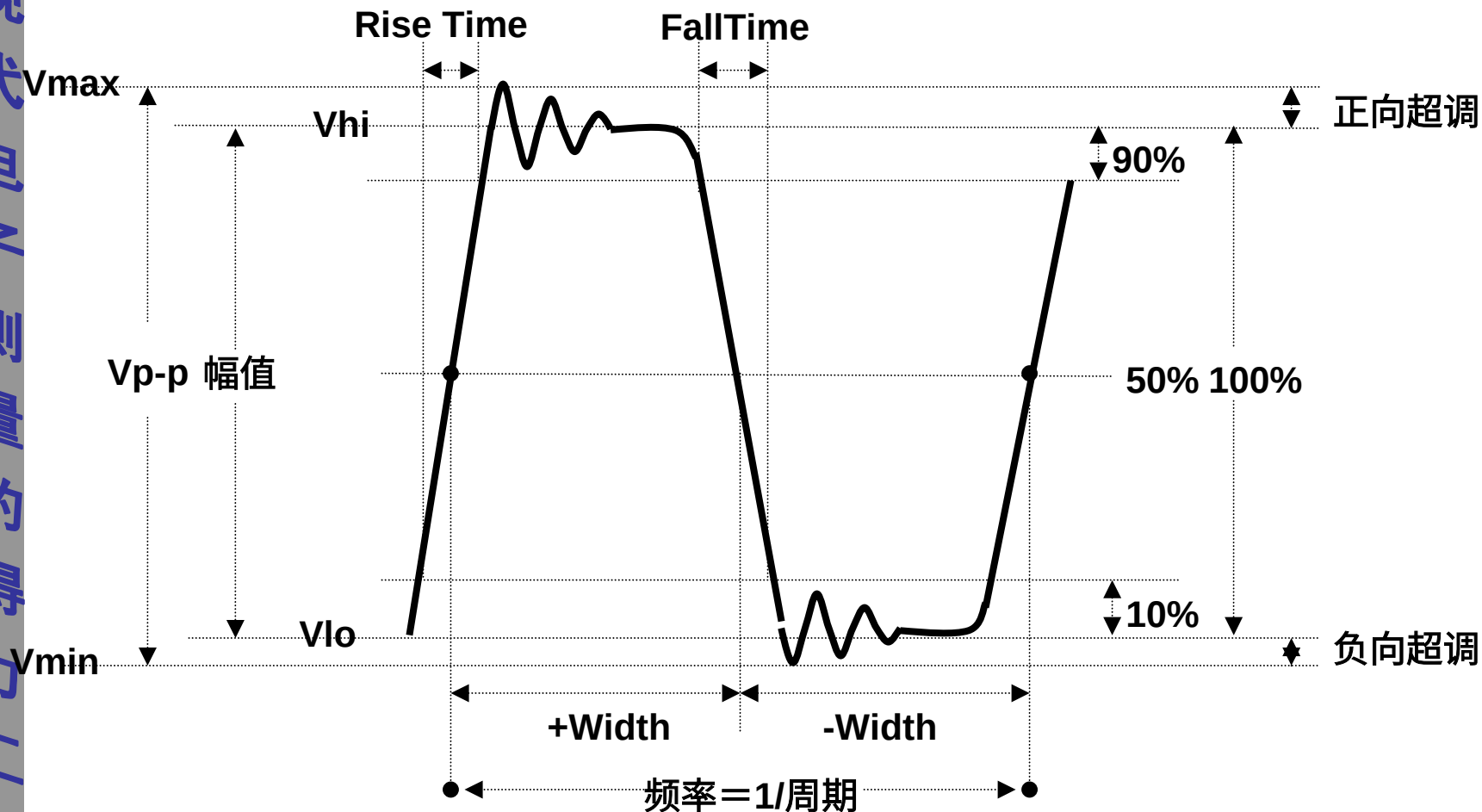
- ▶ 在没有边沿时间信息，只有信号频率和波形类别信息，我们希望所观测到的波形有精度不失真，可以使用倍数的方法选择示波器带宽。

波形测量参数



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



常用电子仪器介绍

示波器的类型



数字存储
示波器

- ▶ 模拟示波器
- ▶ 模拟数字混合示波器
- ▶ 数字示波器
- ▶ 数字荧光示波器
- ▶ 取样示波器

现代电子测量的得力工具

常用电子仪器介绍

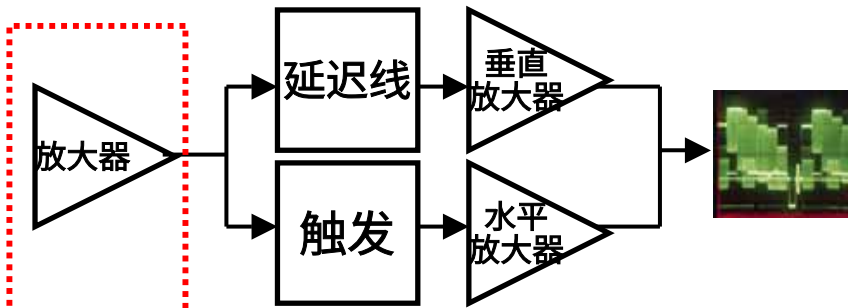
示波器的典型结构



数字存储
示波器

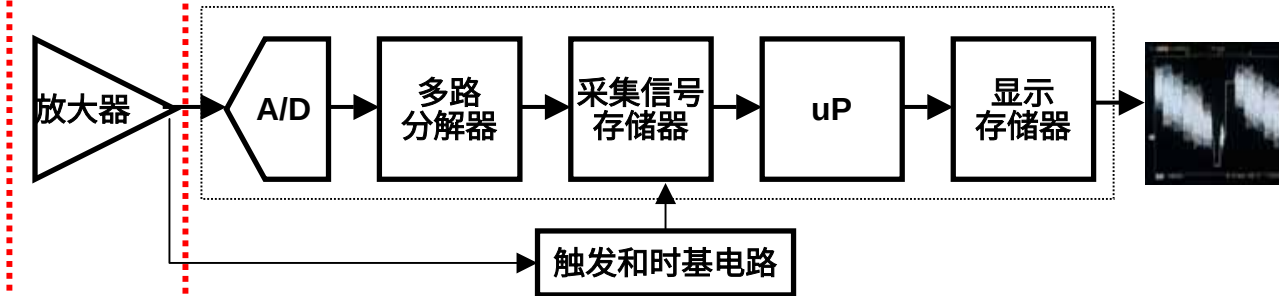
现代电子测量的得力工具

ART
模拟示
波器



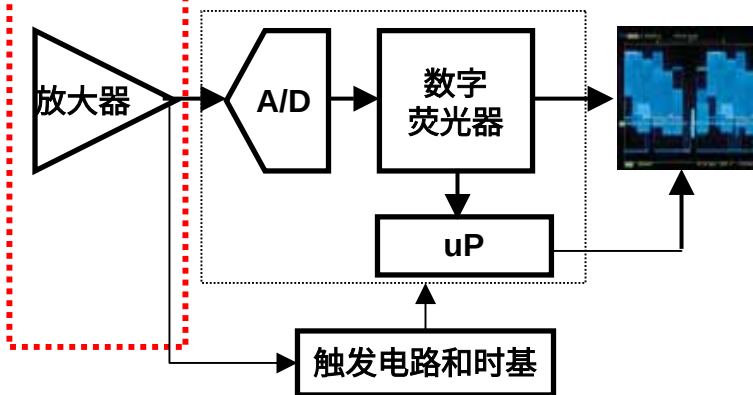
模拟实时
显示

DSO
数字示
波器



串行
处理

DPO
数字荧
光示波
器



并行
处理

常用电子仪器介绍

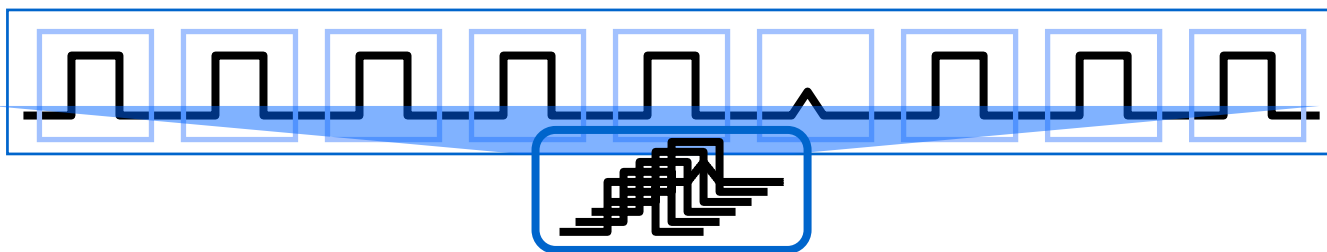
波形的捕获



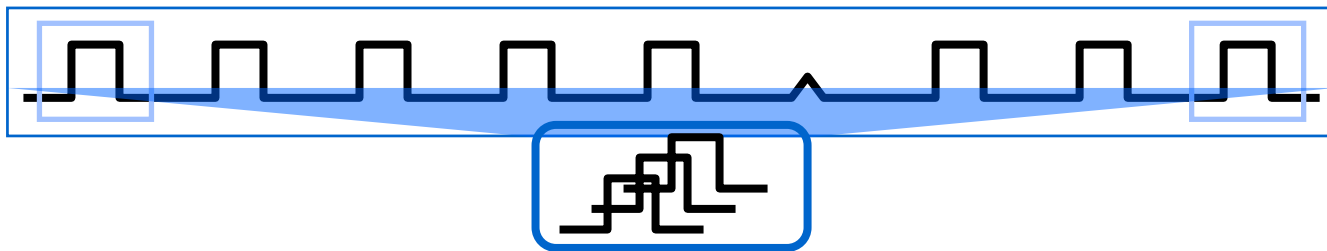
数字存储
示波器

- ▶ 波形捕获率也就是波形刷新率，已经成为考核一台示波器的重要参数之一；
- ▶ 对于示波器来说，波形捕获率高，就能够组织更大数据量的波形质量信息，尤其是在动态复杂信号和隐藏在正常信号下的异常波形的捕获方面，有着特别的作用。

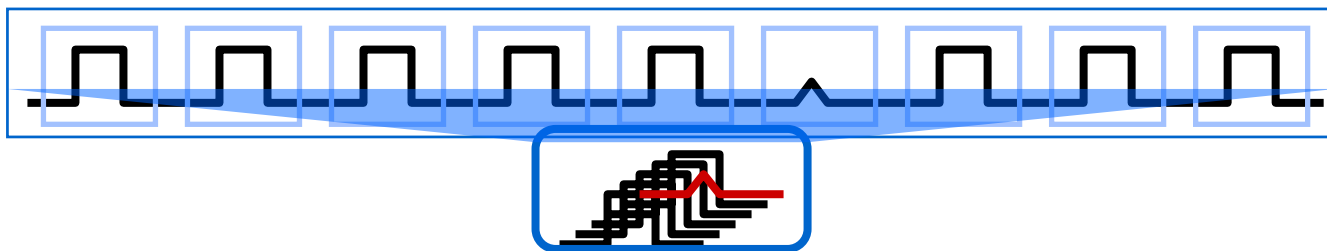
模拟示波器



数字存储
示波器



数字荧光
示波器





各类示波器对波形显示的能力

由于采用的技术和原理不同，在波形的保真、显示能力和捕获能力上，各技术类别的示波器之间存在较大差异。

波形显示 示波器类别	简单重复信号						复杂动态 重复信号	定时 测量	非 重复 单次信号	触发 功能	预 触发	示 波器 带宽	数据 处理
	稳定 信号	变化 信号	异常 信息	缓变 信号	随机 毛刺	快沿 信号							
模拟示波器 CRT显示技术	好	好	差	差	差	差	好	差	不能	边沿	不能	低 470M	不能
DSO示波器 等效采样技术	好	差	差	好	差	好	差(点,余辉) 改善显示	好	差	多种	能	高 6G	能
DSO示波器 实时采样技术	好	好	差	好	好	好	差(点,余辉) 改善显示	好	好	多种	能	高 6G	能
DPO示波器 数字荧光技术	好	好	好	好	好	好	好	好	好	多种	能	高 6G	能

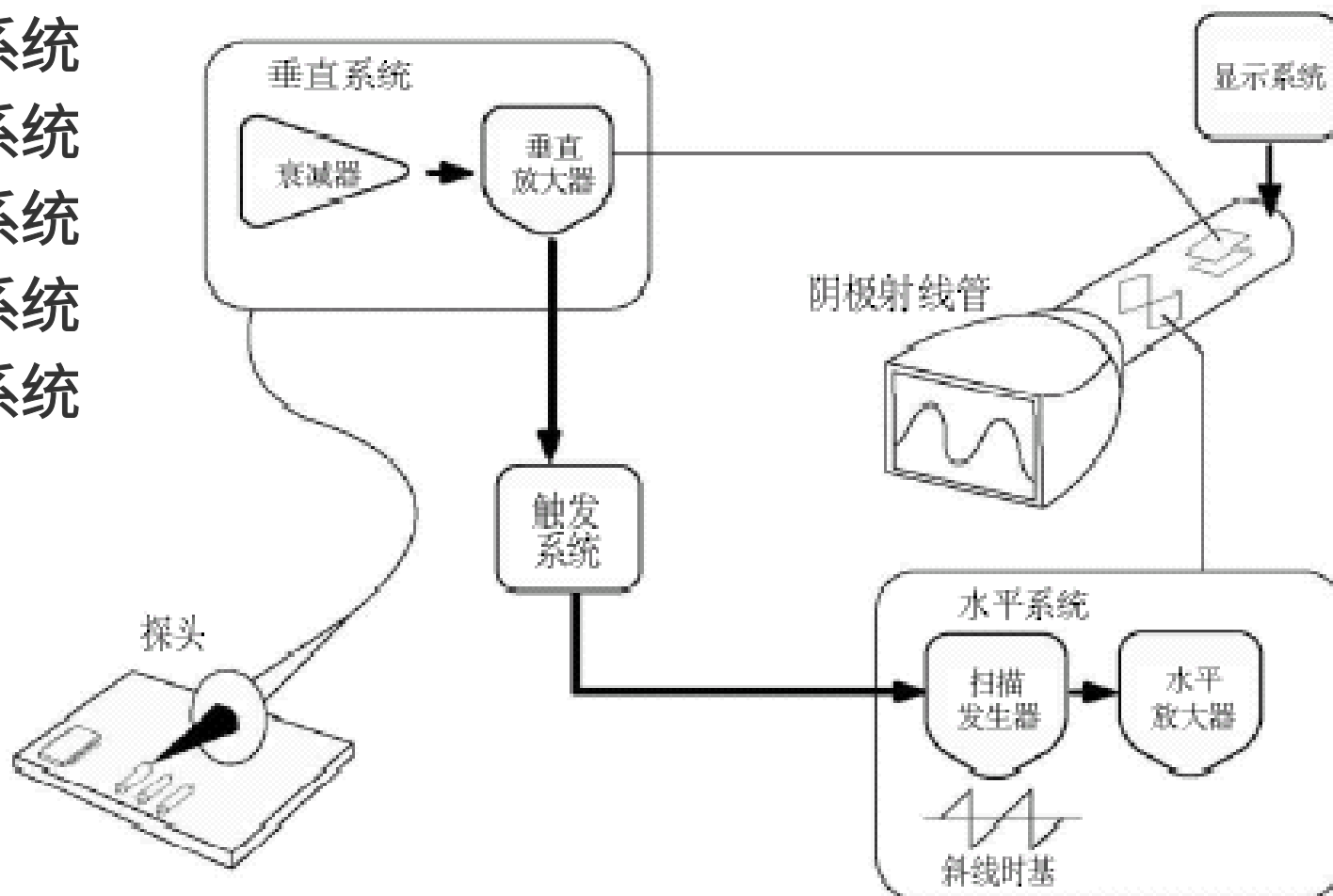
示波器的组成



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

水平系统
垂直系统
扫描系统
触发系统
显示系统



常用电子仪器介绍



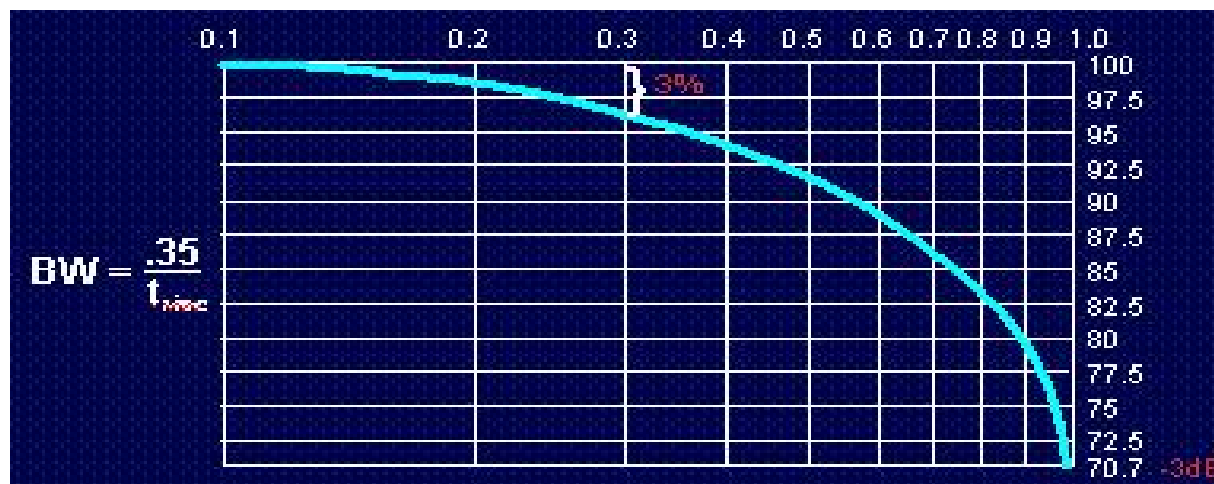
示波器的主要指标

- ▶ 示波器主要技术指标—保证示波器精确的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—保证示波器稳定、捕获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

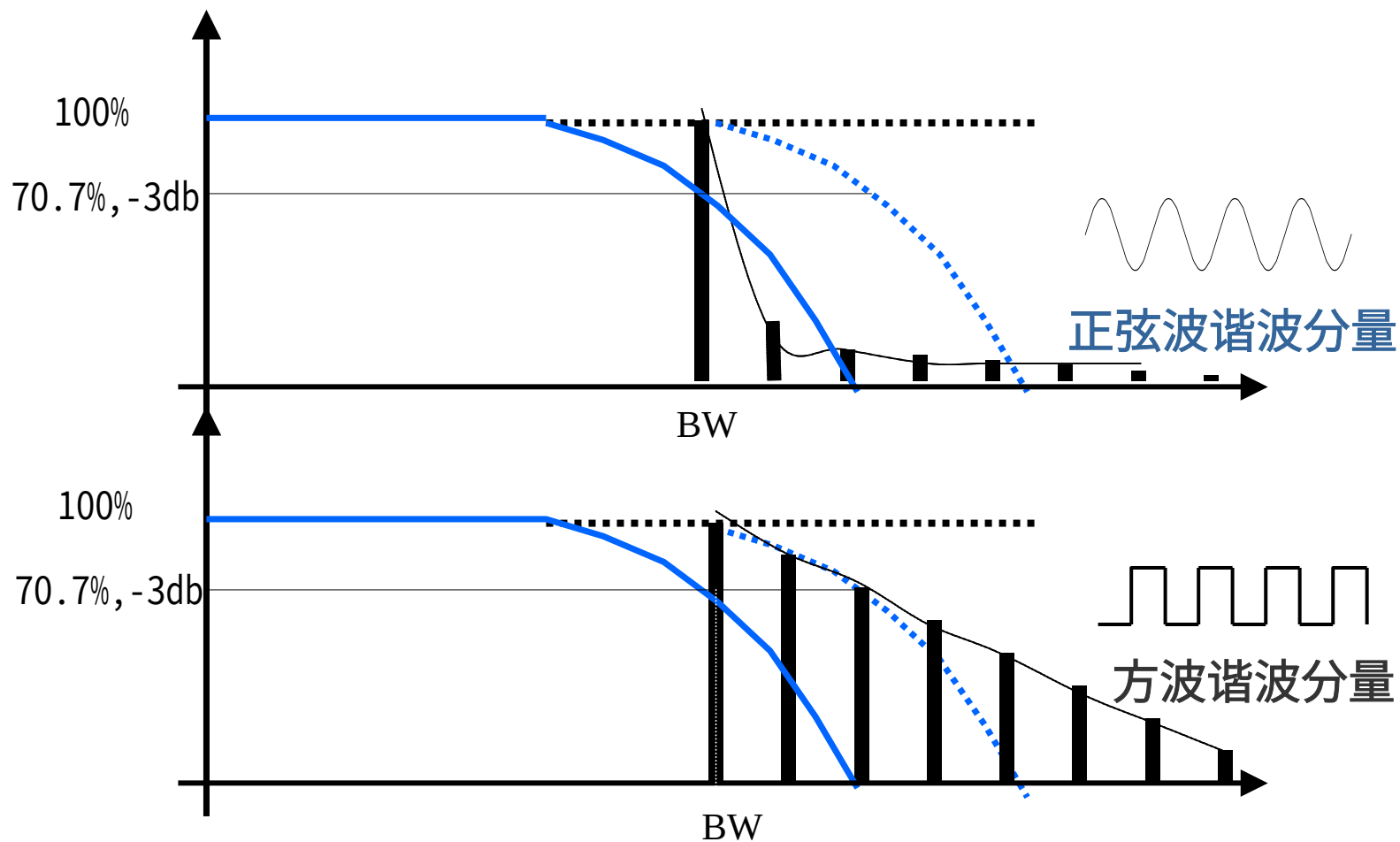


带宽是示波器的首要规格参数

- ▶ 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。示波器所谓带宽是指：
垂直放大器的频率响应，定义为：随着正弦波频率增加，信号幅度下降3dB（70.7%）。在此频点为示波器的带宽



带宽不足将导致波形幅度衰减和波形失真



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，如减少测量误差只能提高延伸示波器带宽。

示波器测量系统带宽



数字存储
示波器

- ▶ 探头也是仪器，它和示波器共同组成测量系统。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，如果探头选择不当，你将冒无法预知测量结果的风险。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以下示波器)

BW = 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 = $\sqrt{\text{探头上升时间}^2 + \text{测量仪表上升时间}^2}$

- ▶ 探头的上升时间应小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小于被测量信号的上升时间。
- ▶ 例：使用100Mhz探头和100Mhz示波器组成测量系统，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，将导致测量系统带宽性能降低100Mhz以下
- ▶ 示波器带宽是应包含探头和示波器整个测量系统的问题，泰克公司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)。

示波器系统带宽（上升时间）对信号影响



数字存储
示波器

- 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以下示波器）

BW = 带宽（单位Hz）（-3dB时的频率）

- 示波器系统的上升时间应小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，依据幅频特性可得测量显示的信号与被测信号的误差为30%。

- 例：一个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 = $(4.95\text{ns} - 3.5\text{ns}) / 3.5\text{ns} = 0.414 = 41\%$

- 改善和提高测量精度只能提高示波器系统带宽，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

常用电子仪器介绍



示波器带宽总结

- 示波器带宽是由放大器模拟带宽决定。示波器带宽是应包含探头和示波器整个测量系统的问题，泰克公司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）。
- 示波器系统带宽不足，会引起上升时间慢和异常幅度衰减
- 为了获得正确的振幅测量，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

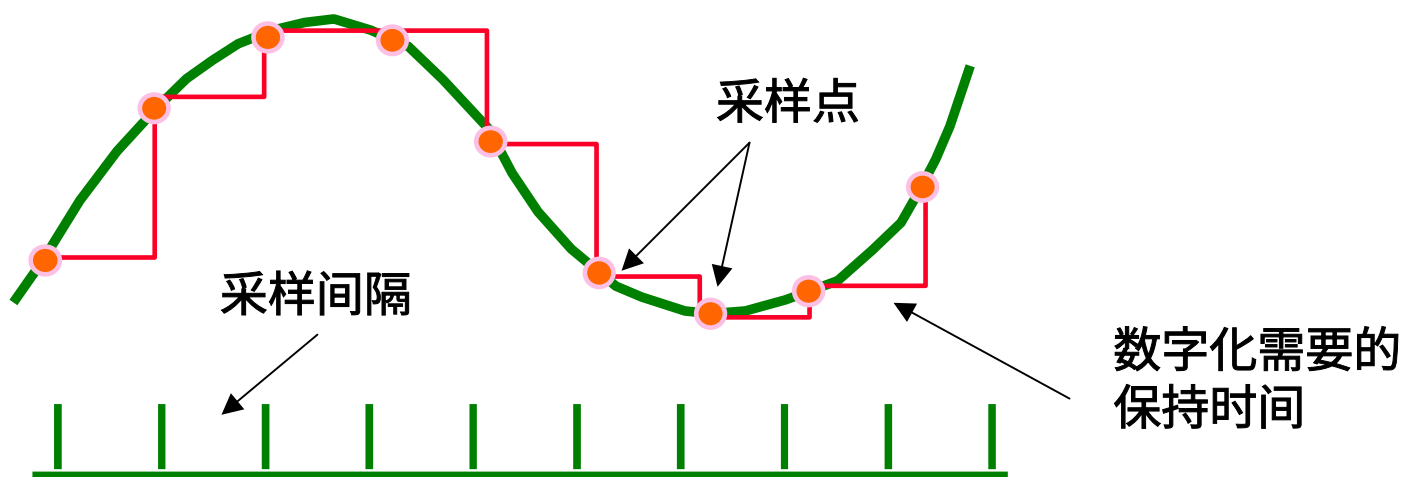
之比	%
1:1	41%
2:1	22%
3:1	12%
4:1	5%
5:1	2%
7:1	1%
10:1	0.5%

采样



数字存储
示波器

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

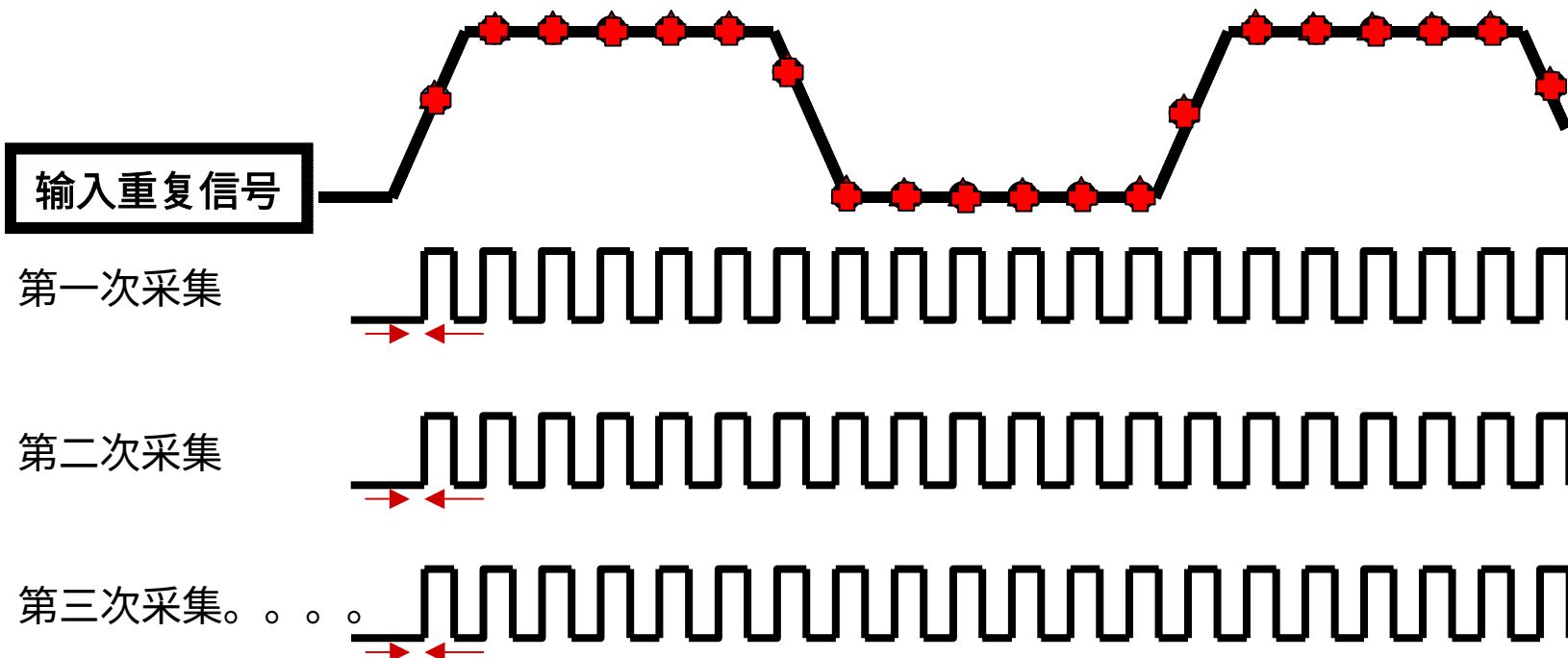


数字实时采样技术：实时采样是最直观的采样方式，采样率超过模拟带宽4—5倍或更高。



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



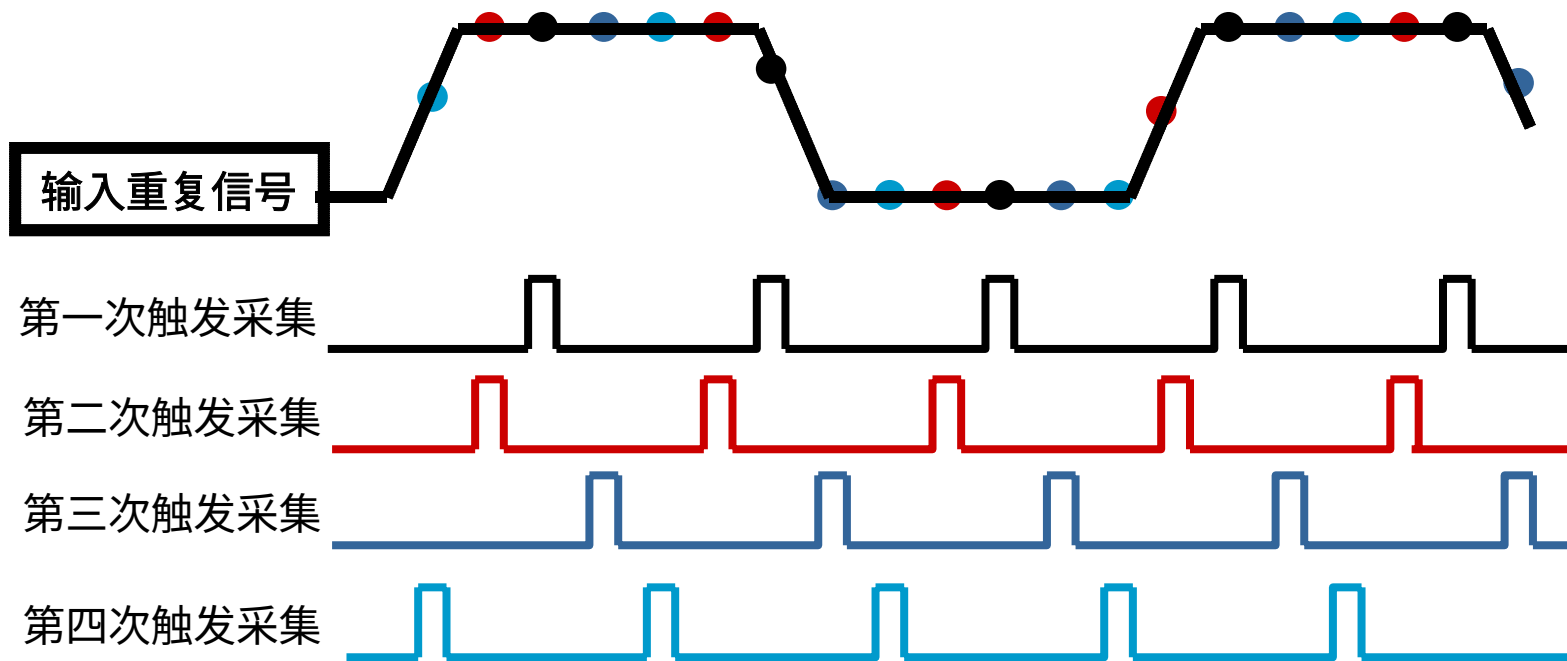
- ▶ 只需一次触发已采集到信号所有资料
- ▶ 对信号的要求：重复信号且可允许信号变化
- ▶ 实时采样技术示波器，不仅适用捕获重复信号、而且是捕捉非重复信号和单次信号的有效技术。以及是捕获隐藏在重复信号中的毛刺和异常信号前提条件。
- ▶ 示波器标定带宽=重复信号带宽=瞬态（单次）信号带宽

常用电子仪器介绍

随机数字等效采样技术：以较低的A/D对信号采集，将数字存储示波器



示波器

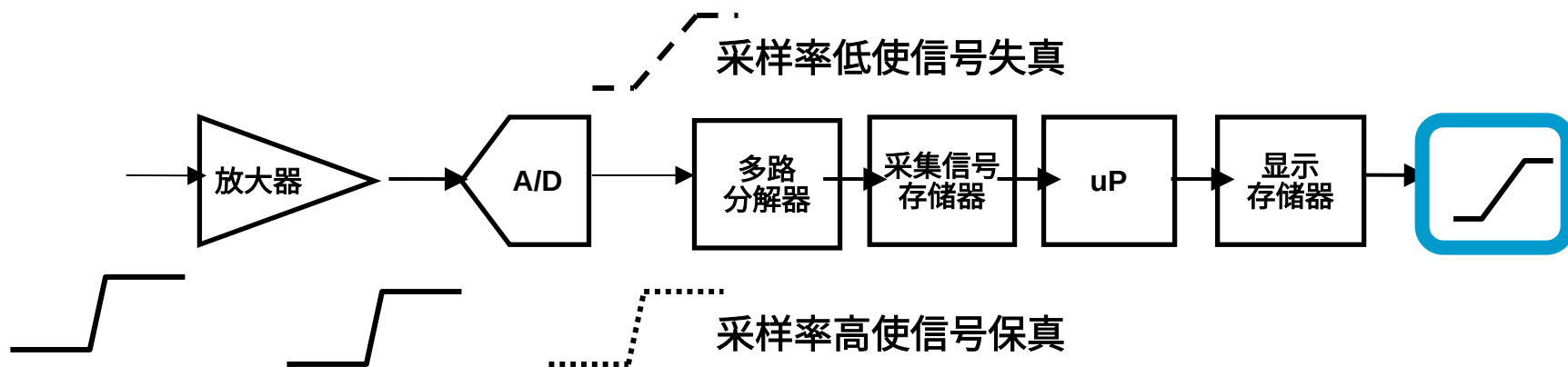


- ▶ 需要经过多次次触发才能采集到信号的所有资料
- ▶ 对信号的要求：信号必须重复并且稳定，如信号变化（如幅度）将造成显示混乱。
- ▶ 等效技术示波器，只适用捕获重复稳定信号，对捕获非重复信号和单次信号的能力。以及是捕获隐藏在重复信号中的毛刺和异常信号的能力。将受到实时采样率的限制。
- ▶ 示波器标定带宽 = 重复信号带宽 > 瞬态（单次）信号带宽。



采样率对单次信号采集

- 数字示波器不但观测重复信号，同时需要观测单次事件信号。虽然示波器放的大器带宽保证了信号输入不失真。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，用以捕捉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，从而保证信号在恢复时不发生混迭现象和失真的情况发生。

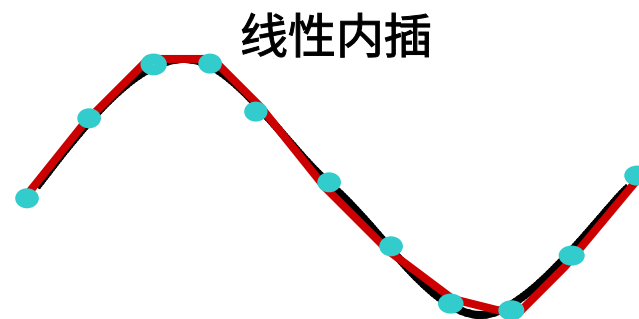
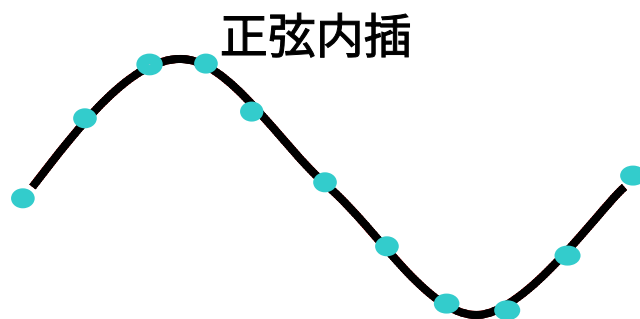


单次采集带宽和波形复现



数字存储
示波器

- ✚ 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。
 - ✚ 线性内插：在相邻采样点直接连接上直线，局限于直边缘信号。
 - ✚ 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结果。这种方法弯曲信号波形，使之产生比纯方波和脉冲更为现实的普通波形。
- ✚ 内插系数：泰克公司的内插系数为2.5, 采用5倍以上示波器带宽的采样率是为提高信号的保真
 - ✚ 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）。



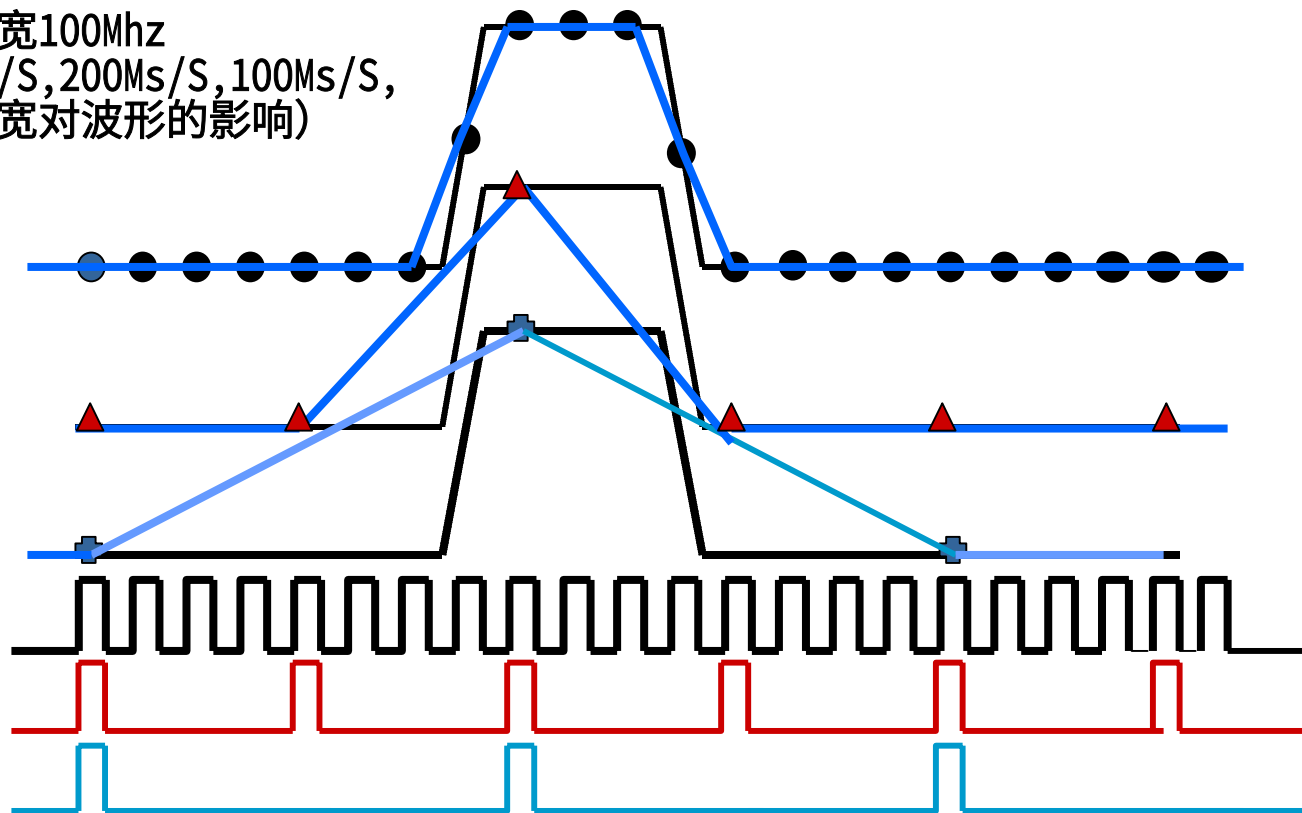
示波器采样率决定：窄脉冲和毛刺信号精确捕获和复现能力

只有信号速度在单次带宽的范围内，对捕获信号才能精确复现



数字存储
示波器

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重复信号中异常信号和随机毛刺信号的捕获能力。

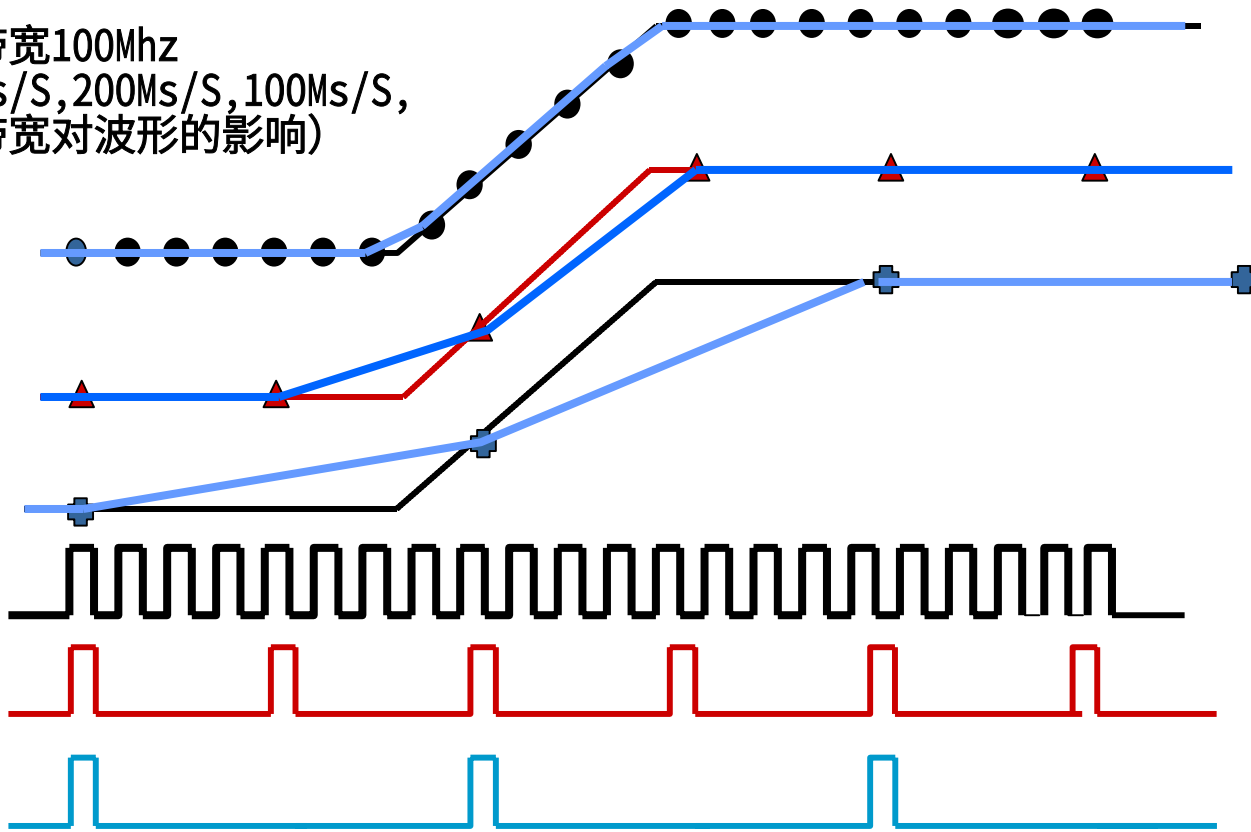
示波器采样率决定：单次事件信号沿的精确捕获和复现能力

数字存储
示波器



现代电子测量的得力工具

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，低重复率信号的上升和下降沿捕获能力。

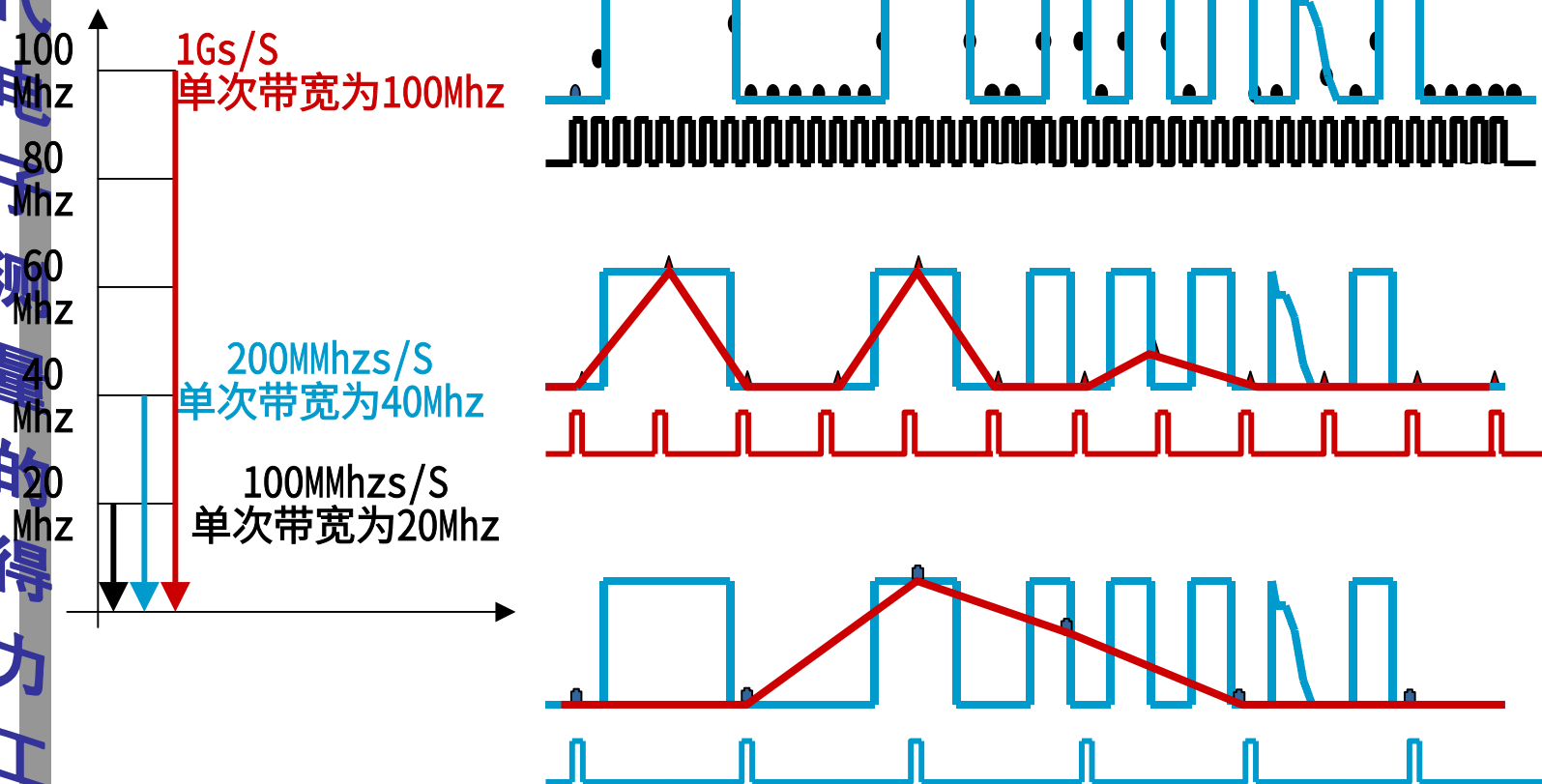
示波器采样率决定：脉冲序列精确复现能力，只有信号速度

在单次带宽的范围内，对捕获信号才能精确复现



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



常用电子仪器介绍



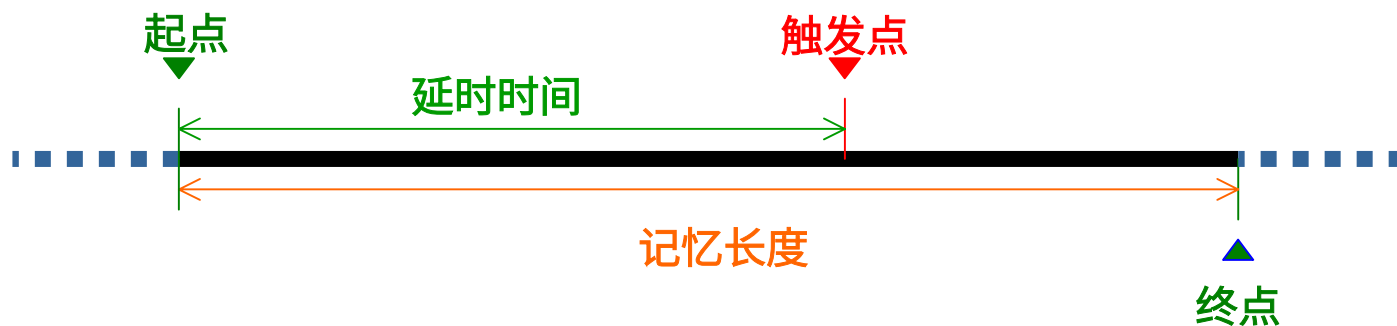
总结：采样率的选择

- ▶ 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，从而获得满意的显示和测量结果。
- ▶ 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的漏失。
- ▶ 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。



示波器存储深度

- ▶ 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
 - 是为捕获和显示单次信号过渡过程提供的重要指标
- ▶ 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。
- ▶ 记录时间 = 记录长度 / 采样率
 - 由于时基和采样率是联动的，所以时基的速度快慢将同时改变采样率的高低。当采样率达到指标定义最高速率时，加快基速度的调整，采样率将不能加快。
 - 时基与采样率的关系应为：存储深度（点）÷ 时间/格 × 10 = 采样间隔。 1/采样间隔 = 采样率



示波器采样率与存储长度的关系



数字存储
示波器

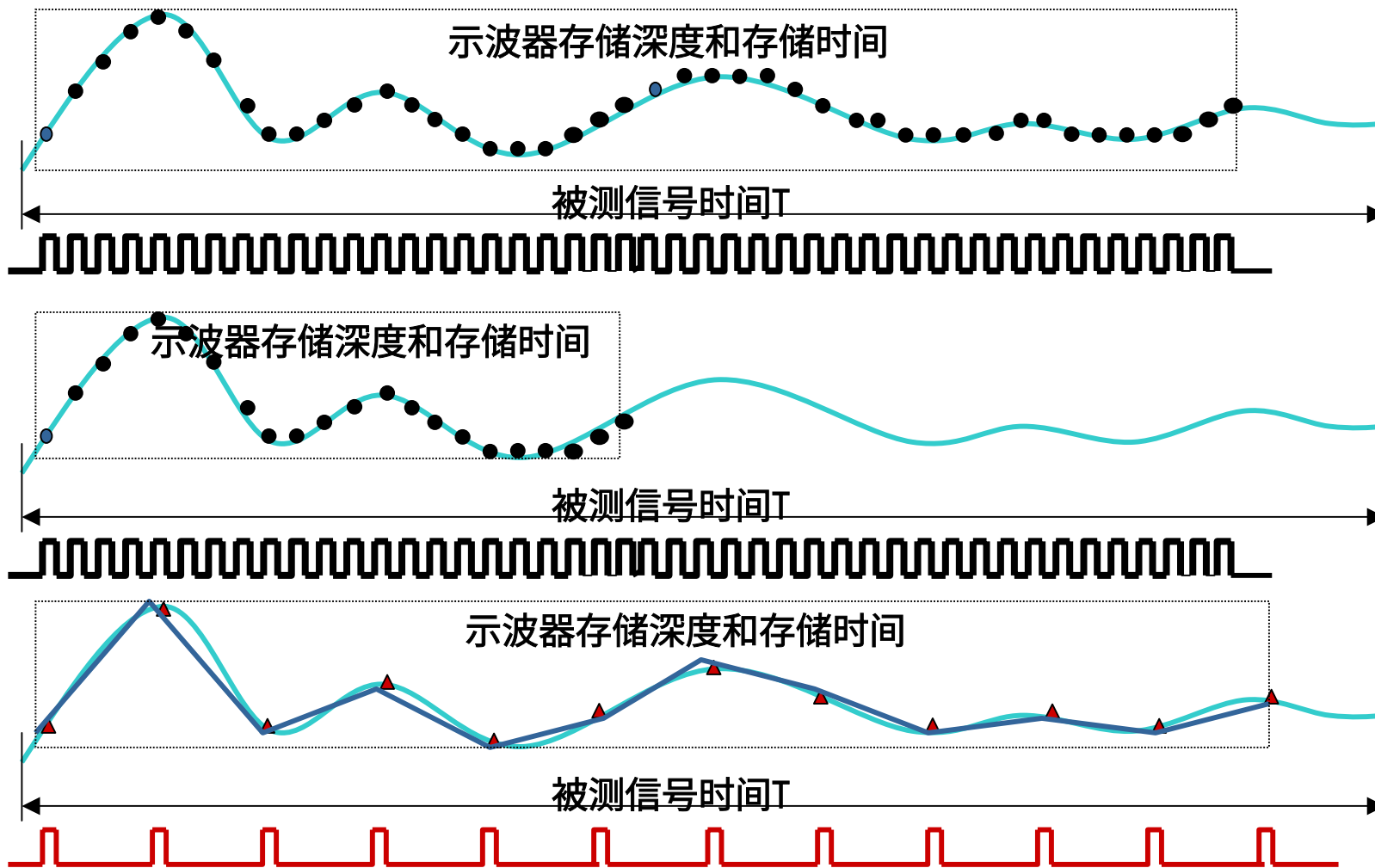
- ▶ 示波器最高采样率决定示波器单次带宽的限制，为保证波形精确复现建议：正弦内插技术示波器以： $\text{采样率} / 5 = \text{单次带宽}$ 的公式计算单次带宽，线性内插技术示波器以： $\text{采样率} / 10 = \text{单次带宽}$ 公式计算。
- ▶ 采样率不足将限制示波器单次带宽。如果示波器在全带宽范围内，对单次信号实现捕获和精确复现。只有采样率高于示波器带宽5倍以上（正弦内插），才能使示波器的重复信号带宽=单次信号带宽。
- ▶ 示波器存储长度对波形的记录是以波形精确捕获为前提。
 - 当信号频率或速度超过单次带宽的限制（信号不能重组），即使示波器带宽对信号不产生影响，但由于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，才能保证信号的高频细节。此时存储长度越长，波形记录时间越长。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



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



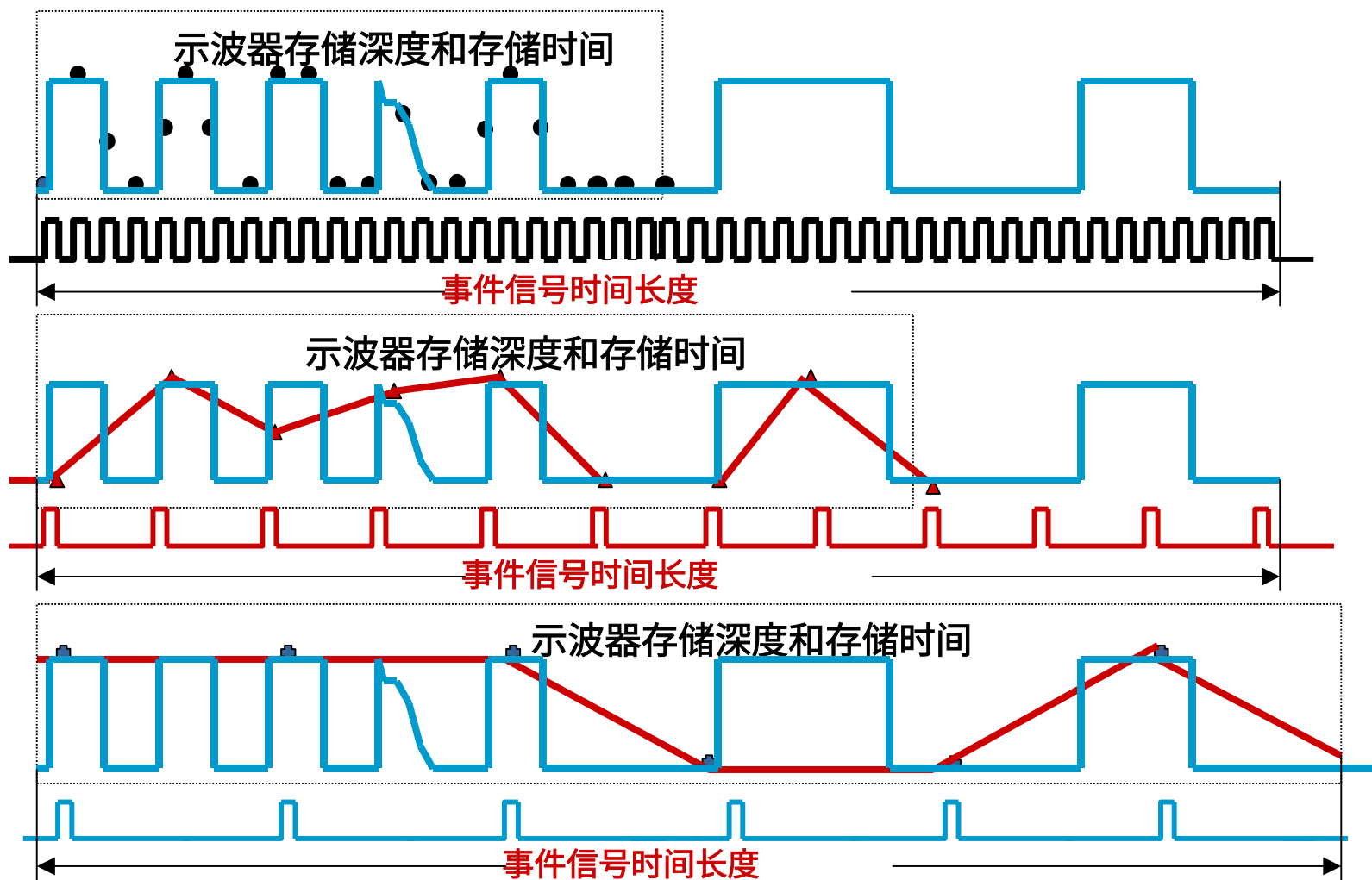
常用电子仪器介绍

采样率、单次带宽与存储深度：对波形的限制



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



常用电子仪器介绍

存储深度总结



数字存储
示波器

- ▶ 示波器带宽、单次带宽和记录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重复信号，以及对重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。
 - 在保证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。
 - 由于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。提高采样率可以提高对信号的捕获精度和分辨率。但降低了存储信号的时间。
 - 采样率和存储深度有限，提高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时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，要保证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，以保证被测信号的精确复现。
 - 示波器的捕获率和触发功能、可以优化示波器的存储深度和采样率。

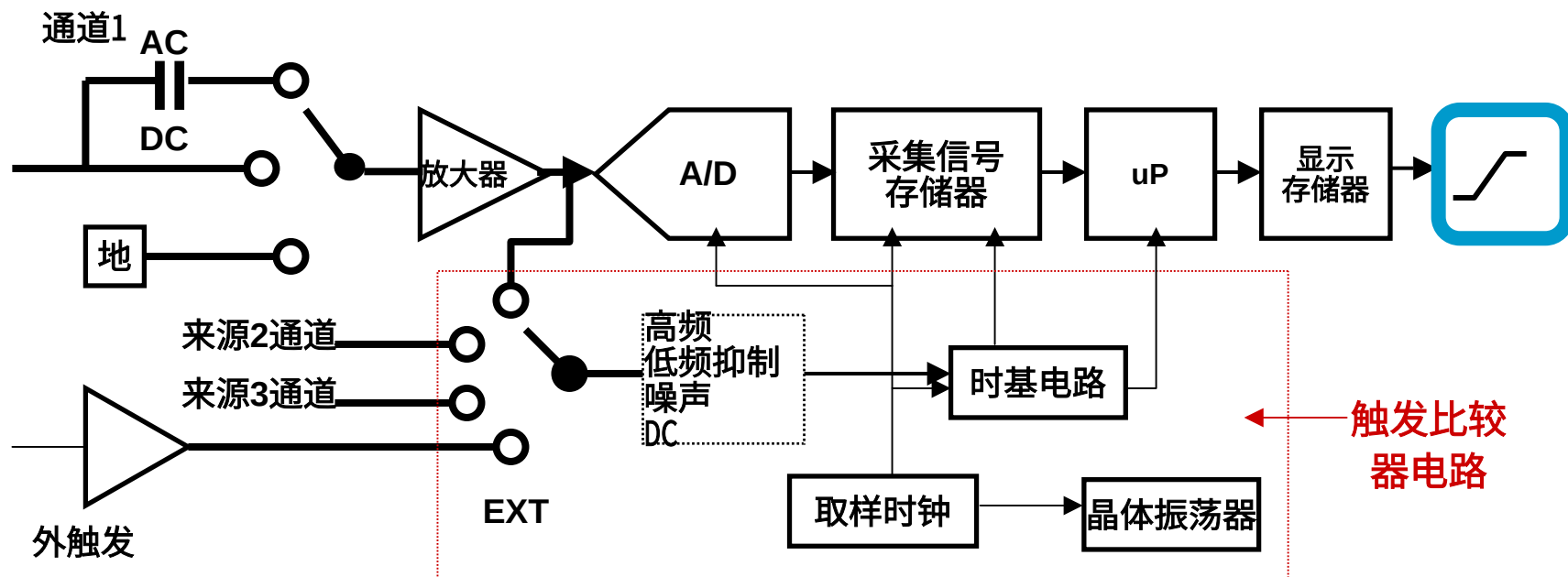


示波器的触发

- ▶ 触发电路的作用就是保证每次时基扫描或采集的时候，都从输入信号上与定义的相同的触发条件开始，这样每一次扫描或采集的波形就同步，可以每次捕获的波形相重叠，从而显示稳定的波形
 - 模拟示波器触发和数字示波器的触发是使重复信号稳定显示
 - 对单次信号进行捕获
 - 对重复信号中的异常波形和单次事件中的特殊波形进行隔离捕获。
- ▶ 触发设置是使用示波器最麻烦的一点
 - 示波器设置都是依据信号特征进行的，所以应该对被测信号有所了解。
 - 示波器提供了许多触发设置方式，这些触发器（功能）可以响应输入信号的不同条件，根据波形特征加以设定和正确应用。会使检测简化，帮助快速发现问题。如一个脉冲比实际应该达到的宽度要窄，若只使用电压门限的触发器是不可能捕获到这样的脉冲。
 - 高级触发控制使你可以单独关注波形中感兴趣的细节，这样可以使示波器采样速率和记录长度得到优化。
- ▶ 触发器：边缘（电压门限）、释抑、脉冲、逻辑、视频、B触发等、
- ▶ 触发模式：自动、正常、单次、滚动模式



数字示波器时基和触发电路功能



- ▶ 数字示波器的时基和触发电路的功能与模拟示波器的有很大不同。它不像模拟示波器的时基电路那样产生斜波电压。而时基电路是一个晶体振荡器。通过测量触发信号和取样时钟之间的时间差，微处理器便可确定将波形取样放在显示器的什么地方。
- ▶ 对选定的触发功能和设定的触发条件，进行精确的鉴别，依据是否符合触发条件决定取样阀门的关断。



示波器观测波形：应根据波形特征进行对示波器设置

- ▶ 所有波形都具有自己的特征，主要类别
 - 周期信号：连续不断的信号
 - ▶ 周期相同的简单重复信号如：正弦波、方波等信号
 - ▶ 在小周期内不同但每个小周期可以重叠的周期信号如：调制、多周期、低重复率等信号
 - ▶ 复杂周期信号如：视频信号
 - 非周期信号或称为单次信号：有起始和终止时间的信号
 - ▶ 高速单次信号如：单脉冲、阶跃等信号
 - ▶ 单次事件信号如：脉冲序列、高压放电、震荡等信号
 - ▶ 重复信号中的异常信号如：重复信号中的欠幅脉冲、脉冲序列中特征码等信号
- ▶ 示波器接入电路后并不能看到波形，我们需要根据已知信号的特征进行对示波器调整和触发条件的设定，才能捕获得到稳定显示的波形。
- ▶ 调整垂直和水平部分，合理的选择耦合、垂直与时基等，为波形稳定或为单次信号的捕获做好合理显示的准备。
- ▶ 根据的波形特征，选择触发器和设定触发条件才能稳定和捕获你关心的信号

数字示波器捕获模式



数字存储
示波器

- ▶ 示波器捕获模式是控制如何从采样点中产生出的波形点。
 - **采集模式**：是最简单的捕获模式，每一个采样间隔，示波器存储一个采样点的值，并做为波形的一个点。
 - **峰值检测模式**：以最高的采样速率运行ADC，即便设置的时基非常慢。采样模式不能捕获采样点之间的快速变化的信号，而峰值检测模式可以捕获到。利用该模式可非常有效地观察到偶尔发生的窄脉冲。
 - **包络模式**：要观察信号的噪声或者抖动现象时。采用包络模式。示波器在连续采集过程中，对波形记录中的每个采样点位置的最小值和最大值都存储下来，并以此构成波形显示。这种模式可采用可变余辉的调节，使采样点在屏幕上保持一定的时间，直至无限显示。包络捕获和无限余辉显示的用途之一，是测量信号最坏的情况。如波形抖动、监察毛刺、观察峰峰值噪声、显示包络线、检测信号漂移等。
 - **平均模式**：是示波器把连续的各次波形采集的结果，通过计算连续捕获得到的波形点的平均值，产生最后显示的波形。采用平均捕获模式，示波器要用更长的时间才能响应信号的变化。平均模式在减少噪声的同时并没有损失带宽将噪声删除，有利于对信号进行精确测量。



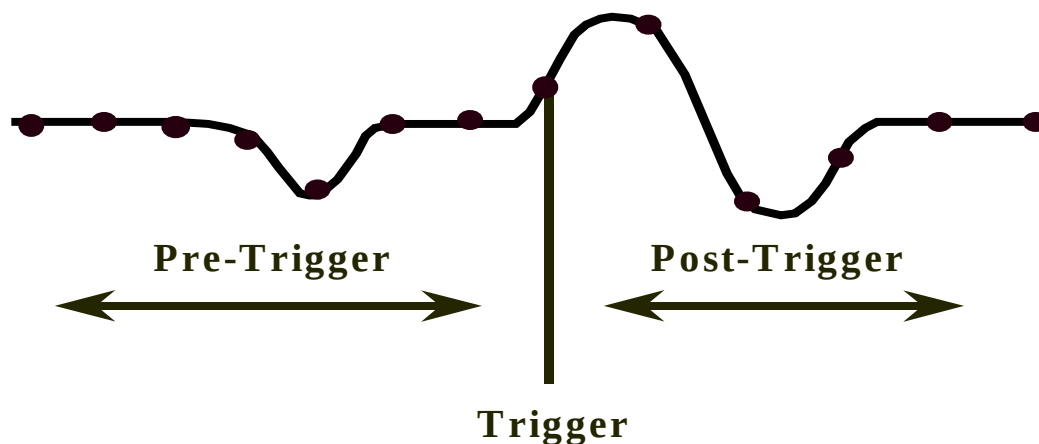
数字示波器触发模式

- ▶ **自动**：即使没有触发，自动模式也能引起示波器的扫描。如果没有信号的输入，示波器中的定时器触发扫描。有信号显示信号，没有信号显示水平基线。
- ▶ **正常**：当输入信号不能满足触发条件时，不扫描，示波器没有任何显示。只有当输入信号满足设置的触发点条件时，才进行扫描，并将最后捕获到的信号冻结显示在屏幕上。如符合触发条件，再次进行捕获，清除上次信号，保留冻结此次的波形。
- ▶ **单次**：当输入的单次信号满足触发条件时，进行捕获（扫描），将波形存储和显示在屏幕上。此时再有信号输入示波器不予理会。需要进行再次捕获必须进行单次设置。
- ▶ **滚动**：模式是一种可以应用于全连续显示的方式，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。
- ▶ **注**：在实际应用中，采用正常触发模式即使触发以很慢的速率发生，也能观测感兴趣的内容。对低重复的信号捕获是非常有意义。

预触发和触发位置



数字存储
示波器



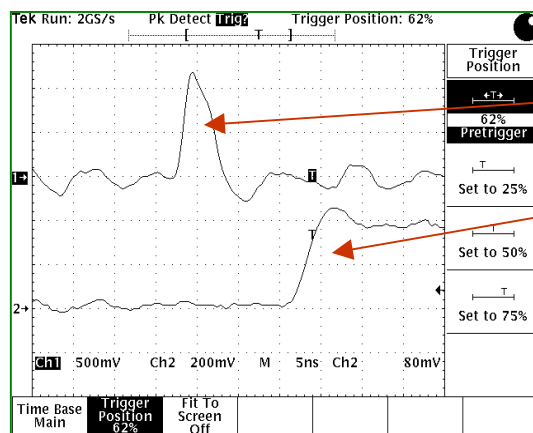
- 数字示波器的一个最显著特点在于它容许用户观看触发前的事件这是因为数据被连续地存储到内存中，同时触发事件在数据量足够后停止采集。
- 只有数字示波器才有触发位置控制，它代表的是波形记录中的水平位置。
- 变更水平触发位置，可以允许你采集触发事件以前的信号，称为预触发。这样，可以确定触发点前面部分和后面部分所包含的可视信号的长度。



触发位置和预触发

- 预触发是一个有价值的处理故障的工具，如果故障间歇地发生，可以利用预触发来解决这样的问题，记录故障发生前的事件，很可能找到原因，
- 由于电路器件对信号的延时效应，其他方面应用如：开关特性输入和输出瞬态特性，以输出信号触发来观看研究输入的小信号。

捕捉事件前的毛刺



- 毛刺
- 预触发
- 单次采样

触发耦合



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

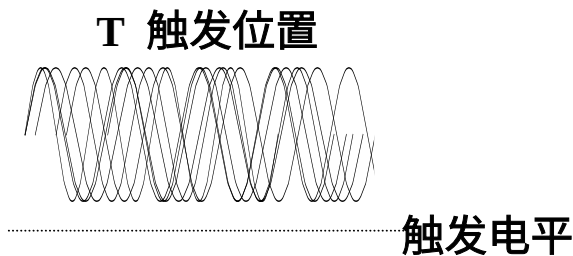
- ▶ 由于示波器的输入信号经放大器分两路，一路进入A/D采样器；一路到触发电路，形成触发信号。
- ▶ 触发耦合是触发信号与触发电路的耦合方式，就像垂直系统输入一样，可为触发信号选择各种耦合方式。这些设置对消除触发噪声很有用处，噪声的消除可以避免错误的触发。耦合方式：
 - 默认时为DC耦合：触发信号直接连到触发电路
 - 交流耦合：触发源通过一个串联的电容连到触发电路起到隔直作用
 - HF抑制：使触发信号通过低通滤波器以抑制高频分量，这意味即一个低频信号中包含很多高频噪声，仍能使其按低频信号触发。
 - LF抑制：使触发源信号通过一个高通滤波器以抑制其低频成分。这意味即使一个高频信号中包含很多低频噪声，仍能使其按低频信号触发。这对于显示包含很多电源交流信号时情况是很有用处的。



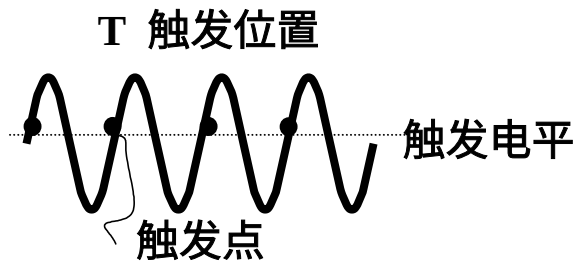
边缘触发功能：是使重复信号同步、稳定显示

- ▶ 示波器为使重复波形稳定显示，具有边缘触发最基本的触发方式，
 - 上升、下降沿和触发电平在信号边缘上构成触发点，重复信号会有多个触发点。触发位置、沿和触发电平决定每次扫描的开始时刻。同时触发位置还代表波形记录中触发水平位置。
 - 边缘触发控制器是使每一次扫描起始都从信号的相同触发位置开始，不断的显示输入信号的相同部分，并使每次捕获的波形相重叠显示。
- ▶ 波形边缘和触发电平的设置成为重复信号显示的标准条件
- ▶ 对于重复信号AUTOSSET(自动设置)是最简单的触发方式。

触发条件不具备



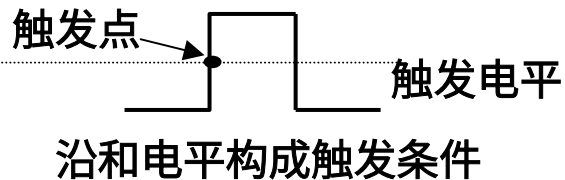
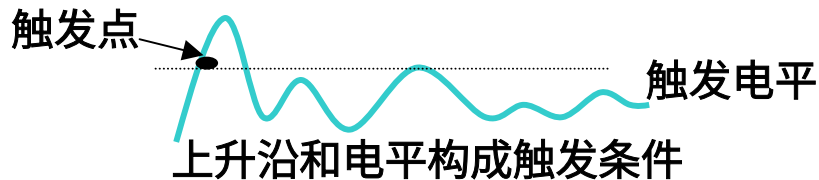
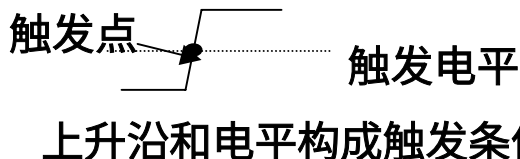
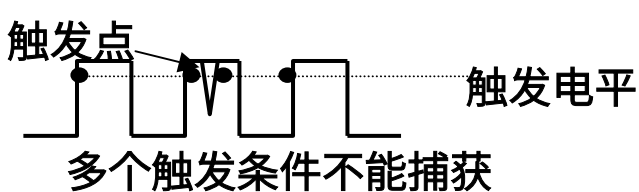
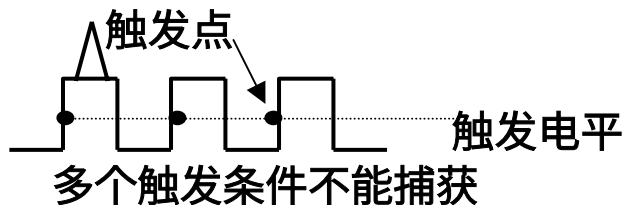
具备触发条件



边缘触发和单次触发：是使简单单次信号得到捕获

- ▶ 示波器为使单次信号（包括重复信号中的过冲异常）得到捕获。边缘触发条件是基本的触发方式。但要同时设定单次触发模式进行配合。
 - 重复信号上升、下降沿和触发电平在信号边缘上构成触发点，而重复信号会构成有多个触发点。估对重复信号中异常波形捕获的触发条件设定，必须能使沿和触发电平构成唯一触发条件，信号方能得到隔离捕获。
 - 波形边缘和电平的设置是单次信号捕获的标准条件

现代电子测量的得力工具

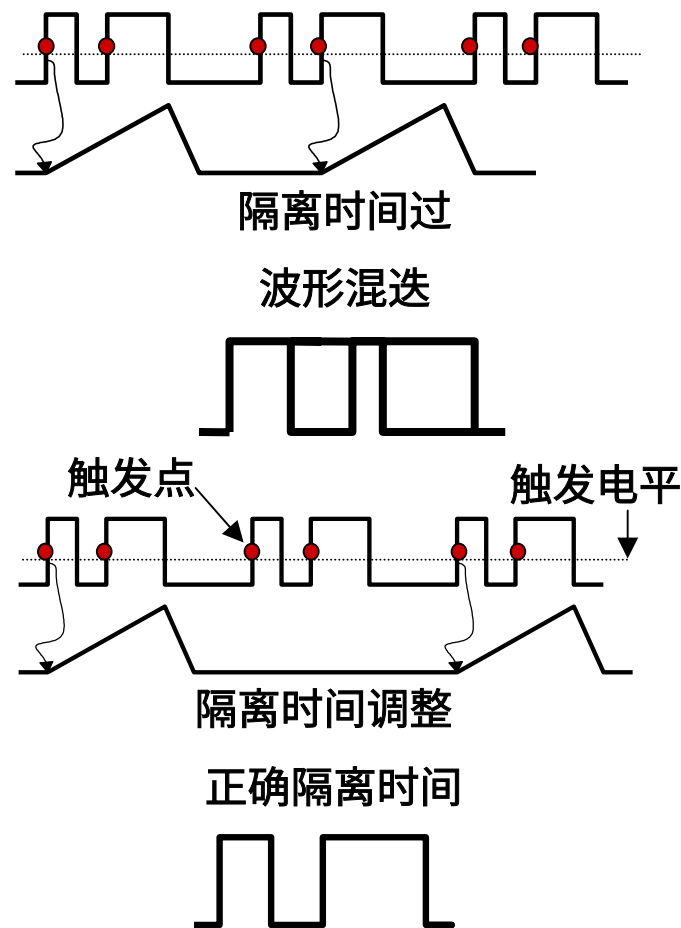


触发释抑(Hold off):调整设定,是使特殊重复信号同步稳定显示。



数字存储
示波器

- ▶ 一些信号在小周期内不重复,但每个小周期可以相重叠的周期信号如:调制、多周期、重复率低等信号(如图)
- ▶ 信号具有多个可能的触发点,但示波器的扫描间隔是固定的,会造成使每一次扫描起始都从信号不相同位置开始,使波形显示混乱。
- ▶ 采用触发隔离功能
 - 即在各次扫描之间加入延迟时间,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。
- ▶ 依据波形特征设置显示稳定的触发条件
 - 沿和触发电平标准条件设定,同时还有设定触发释抑波形特征条件。

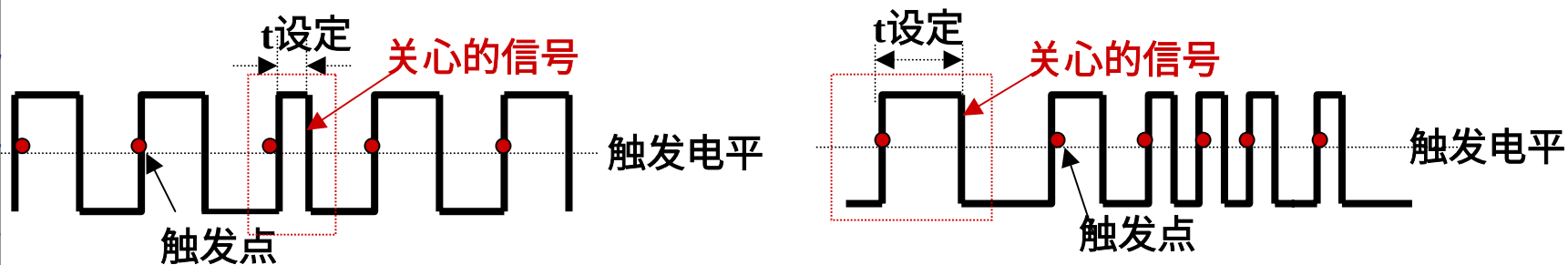


宽度触发: 我们关心周期信号中出现的与规定时间宽度不符的异常信号或关心脉冲序列中的某一时间宽度特征码捕获。使用脉冲宽度触发是最佳选择。



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

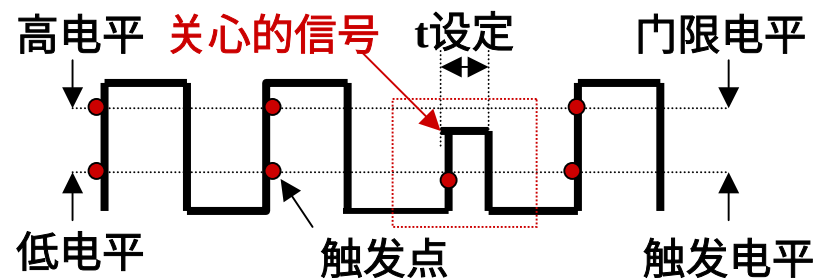
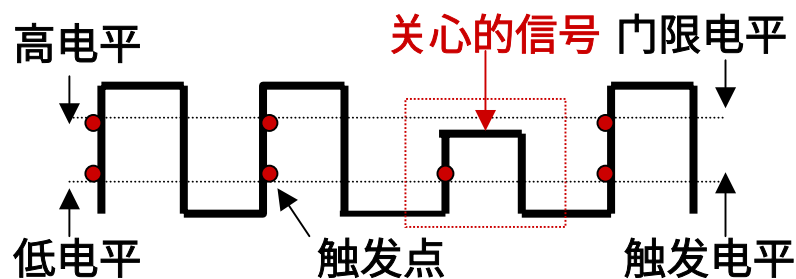


- ▶ 由于信号在波形的沿上都具有触发点。隔离捕获异常宽度信号时，利用边缘触发的基本方式设定触发条件，是不可能捕获到异常宽度波形。
- ▶ 根据信号的特征(波形宽度问题)，选用脉冲宽度触发功能设定触发电平和设定所要捕获波形的时间宽度(时间触发条件设定为= 或 < 或 > 或 ≠)。当波形满足电平触发条件。同时满足设定的波形时间宽度的触发条件时，通过脉冲宽度触发比较器使示波器触发，捕获到所关心的宽度波形。
- ▶ 利用脉冲宽度触发，可以长时间监视信号，当脉冲宽度超过设定的允许范围时，引起触发。
- ▶ 脉冲宽度设定整范围：(TDS3000B为，39.6ns—10s)

欠幅触发:我们关心信号周期信号中出现的与规定幅度不符的异常波形或关心脉冲序列的欠幅脉冲的捕获。使用欠幅触发是最佳选择



数字存储
示波器



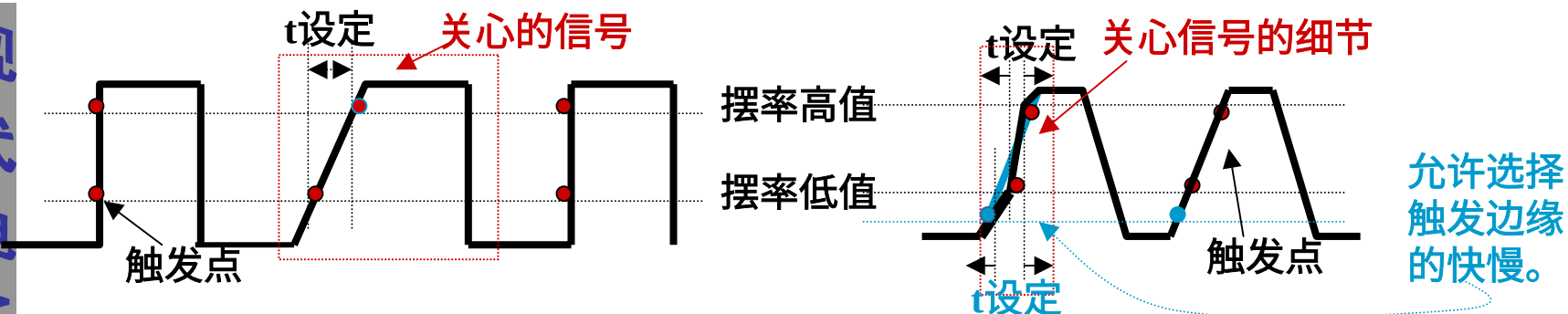
- 由于信号在波形的沿上都具有触发点。隔离捕获欠幅信号时，利用边缘触发的基本方式设定触发条件，是不可能捕获到欠幅波形。
- 根据信号的特征(波形欠幅问题)，选用欠幅触发功能，设定高低电平。当波形满足低电平触发条件，同时（波形幅度低于设置的高电平）不能满足高电平触发条件时，通过欠幅触发比较器使示波器触发，捕获到欠幅的波形。
- TDS3KB在使用欠幅触发时，可同时选择波形宽度条件 (方法与脉宽触发相同)，当波形满足高低电平设置条件，同时满足设定的波形时间宽度的触发条件时，通过欠幅触发比较器使示波器触发，捕获到所关心的欠幅波形。
- 利用欠幅触发，可以长时间监视信号，当波形幅度低于设定的门限电平时，引起触发。

摆率触发:我们关心信号周期信号中,出现的与规定边缘速率不符的异常波形或关心脉冲序列的边缘速率异常的脉冲捕获。使用摆率触发是最佳选择。



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

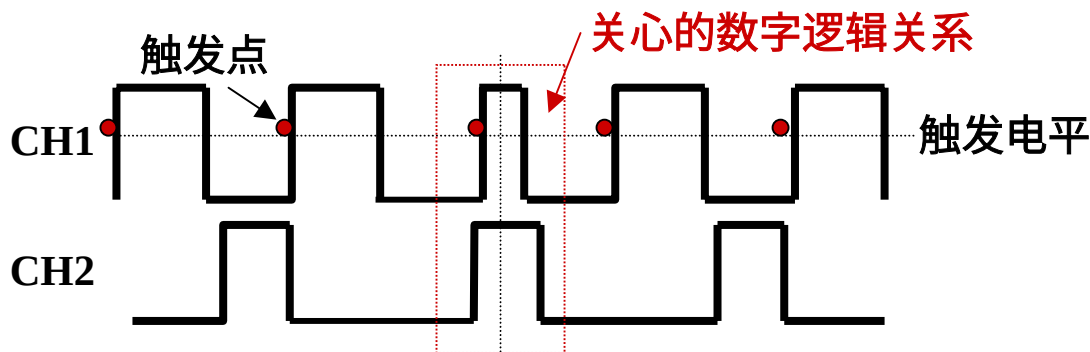


- 摆率 = V 幅度 / S 时间。幅度表示高低阈值之间的幅度, 时间表示波形沿高低阈值之间的时间。摆率表示沿由低电平变化到高电平的速度。
- 由于信号在波形的沿上都具有触发条件, 隔离捕获上升或下降时间异常信号时, 利用边缘触发的基本方式设定触发条件, 是不可能捕获到关心的波形。
- 根据信号的特征(波形边沿速度问题), 选用摆率触发功能, 设定高低阈值和高低阈值之间的时间。示波器自动计算摆率(摆率触发条件设定为= 或 < 或 > 或 $\neq$) 当波形满足触发条件条件时, 通过触发触发比较器使示波器触发, 捕获到关心的沿信号。
- 摆率触发。如果高频信号的响应速率比期望或需要的快, 则发出易出故障的能量, 响应速率触发优于传统的边缘触发, 这是因为增加了时间元素, 允许您选择触发边缘的快慢。

逻辑触发: 我们关心各通道输入信号之间的数字逻辑关系, 选择逻辑触发是最佳的选择、



数字存储
示波器



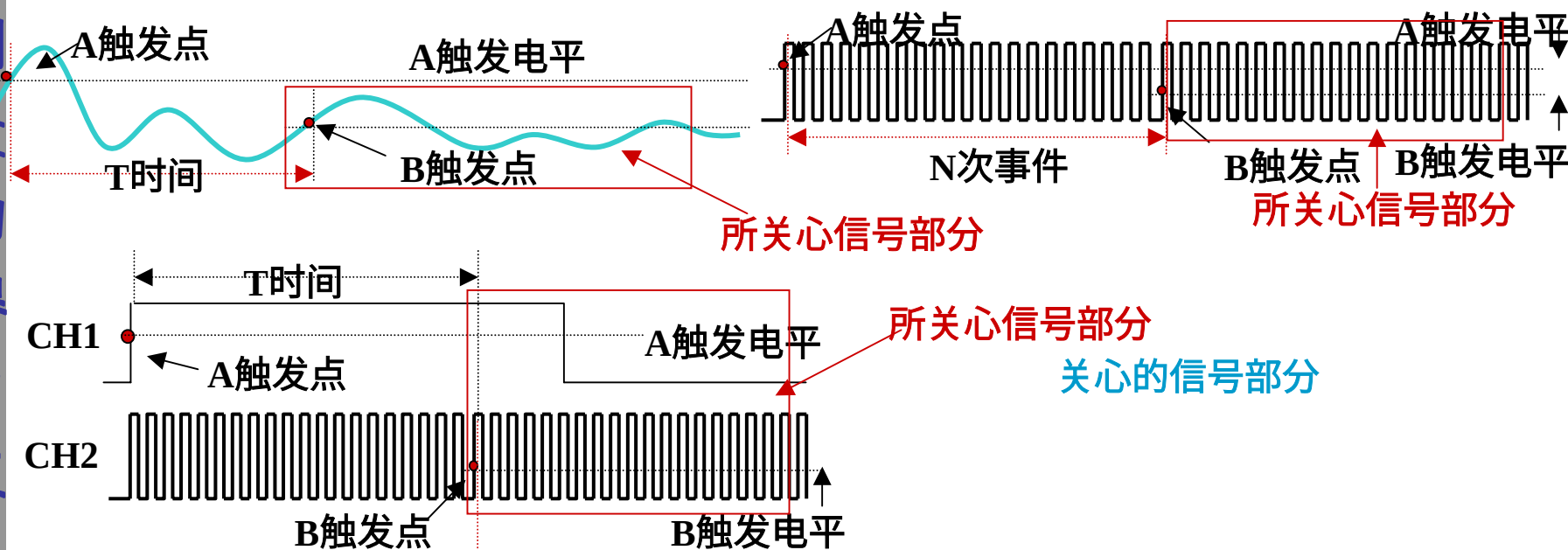
- ▶ 如果输入通道的逻辑组合满足触发条件时, 产生触发。则为逻辑触发。特别适用验证数字逻辑的操作。

B触发: 我们关心单次信号某时间后发生的信息或关心单次信号某事件后发生的信息, 使用B触发功能是最佳选择。



数字存储
示波器

- ▶ 由于存储深度的限制, 但希望观测某时刻后发生的信息, 又不希望失去信号高频信息 (降低采样率提升存储时间会丢失信号高频成份), 选择B触发功能是最佳选择。
 - 根据波形的特征 (所关心信号部分) 设定A触发、B触发电平和A.B触发点之间的时间或事件。满足, 信号从A触发点 (条件) 开始, 经过延时时间或事件后到B触发点 (条件) 产生触发。
 - 时间触发: 是以计时器鉴别比较AB触发条件之间的时间
 - 事件触发: 是以计数器鉴别比较AB触发条件之间的事件次数



常用电子仪器介绍

视频和通讯触发



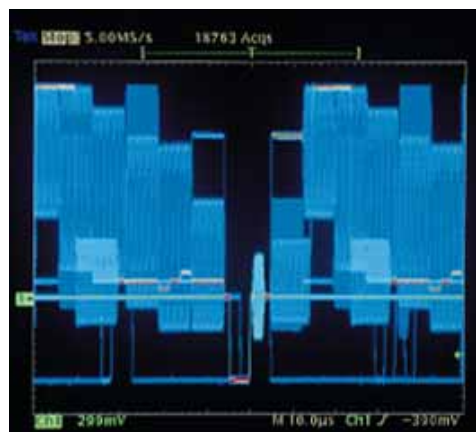
数字存储
示波器

▶ 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同步脉冲作为触发信号。TV触发有两种模式，TVF 场和TVL行
- 行和场选择
- 自定义

▶ 通讯触发：在示波器中为选项

- 适合捕获通讯传输信号，以触发模板判断信号通过与不通过，并进行记录。

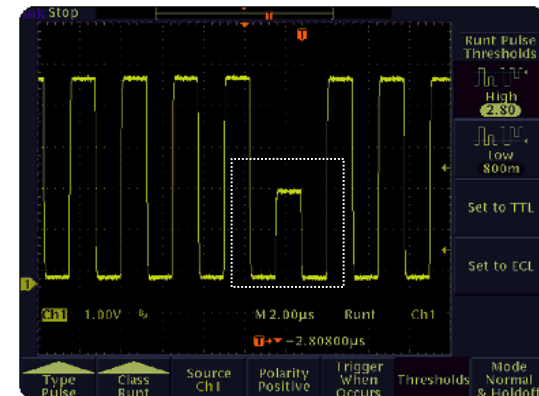
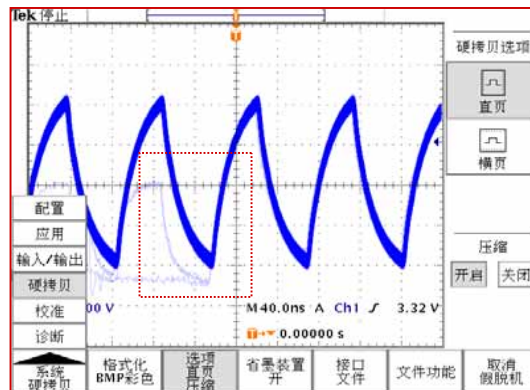
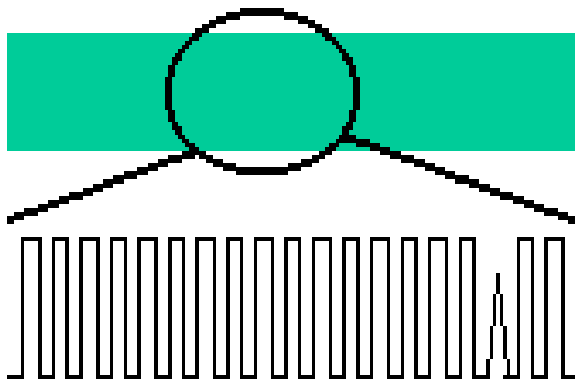


常用电子仪器介绍

捕获率 (DPO技术) : 我们关心重复信号中存在的异常波形 (未知信息) 和观测复杂重复信号, 使用DPO技术是发现故障信息的最佳选择。



数字存储
示波器



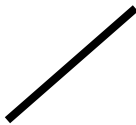
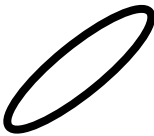
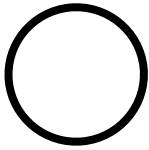
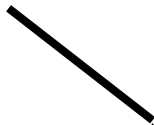
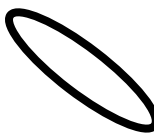
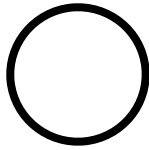
- 数字荧光示波器波形捕获能力, 可快速发现波形中的异常信号。可将未知信号转变为可视的已知信号。
- 通过示波器的高级触发功能选择和设置, 进一步将信号隔离捕获, 从而能对该信号进行精确的测量和分析。
- 向触发功能一样, 捕获率可以减小示波器实际需要的存储深度, 优化采样率和示波器存储深度。
- DPO技术不但快速的波形捕获率, 同时对每次捕获的波形进行数字荧光处理。使其有类似模拟示波器一样的, 对信号具有快速实时响应和亮度等级显示的能力。观测重复信号中异常波形和复杂重复信号使用DPO是最佳选择。
- ▶ 异常波形检测功能

常用电子仪器介绍



(XY) 模式—Lissajous

- X—Y模式是示波器是一种测量相移的方法。这时示波器将时基关闭，两个通道X，Y轴都跟踪电压。从李萨如模式的形状可以分辨两个信号间的相位差异，而且还能分辨它们的频率比率。
 - 相位测量
 - 频率测量
 - 例：

信号 频率比	相位差					
	0度	45度	90度	180度	270度	360度
1 : 1						



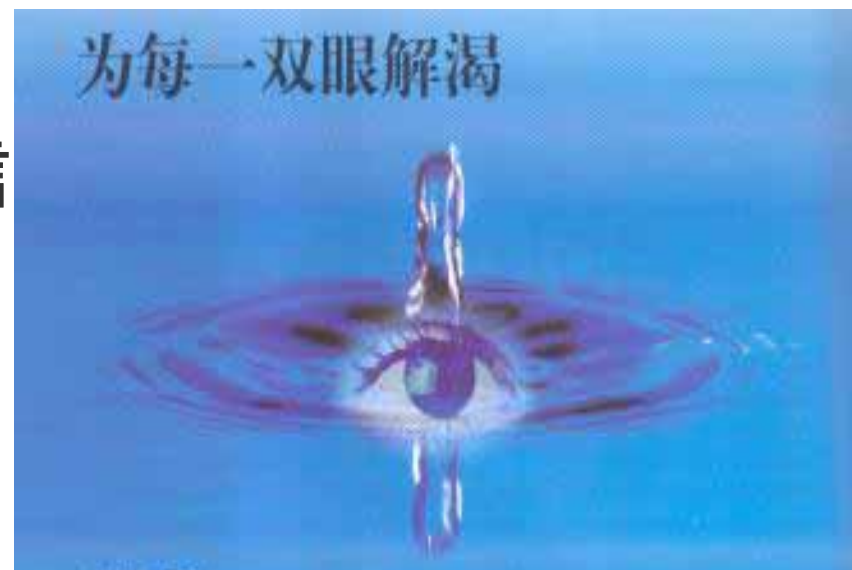
- 示波器的作用是精确显示用户所需要观测的信号和波形
 - 示波器的主要技术指标是保证所观测的信号和波形不失真的前提条件。
 - 我们需要以客户可以接受共同技术原理、定理、公式等基础知识，结合客户观测波形的特征，共同探讨示波器和探头指标对所观测信号精度的好处和危害。帮助客户选择符合客户观测精度要求的示波器。
- 根据波形特征，测试条件、测试环境合理设置示波器，并正确的连接被测电路，是示波器捕获信号的必要条件。
 - 示波器作为观测电信号的工具，由于波形类别多样性和操作复杂性。要求我们结合客户所观测的波形特征，帮助客户合理设置示波器的垂直和水平系统、选择设置触发和测量等功能。达到捕获波形和进行波形测量需求目的。

示波器 - 电子工程师的眼睛



数字存储
示波器

示波器的首要条件：
准确地显示波形和进行信号完整性测量



常用电子仪器介绍

波形的类型

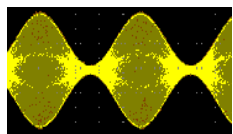


数字存储
示波器

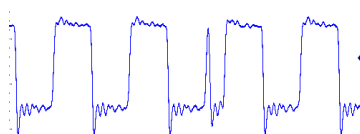
▶ 大多数波都属于如下类型：

- 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

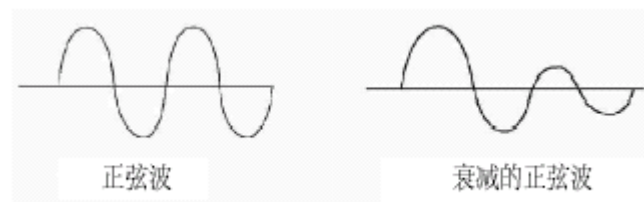
▶ 还有很多波是上述波形的组合



调制波

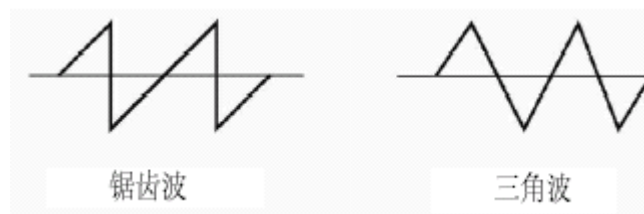


重复信号中的异常



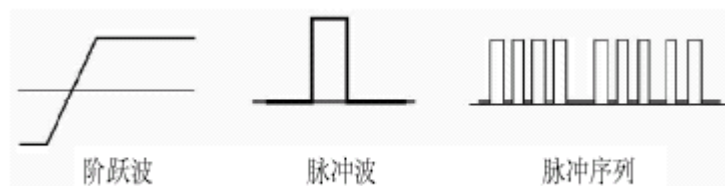
正弦波

衰减的正弦波



锯齿波

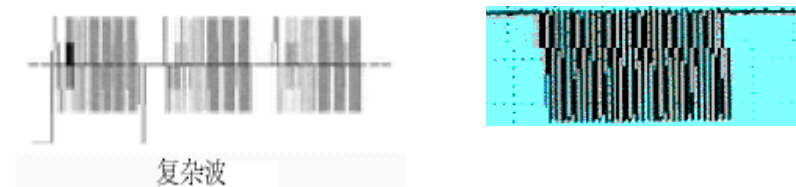
三角波



阶跃波

脉冲波

脉冲序列



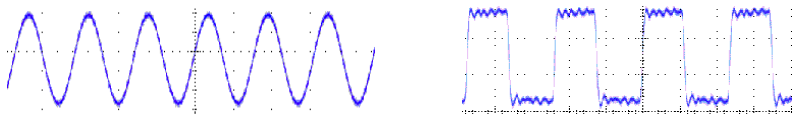
复杂波

观察众多的信号- 迅速进行故障定位来提高效率

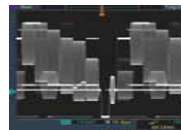


数字存储
示波器

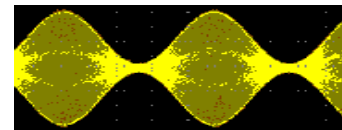
重复周期信号



视频信号



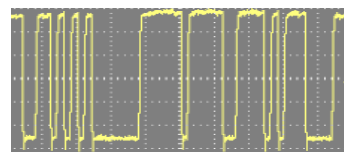
调制信号



单次/瞬态信号



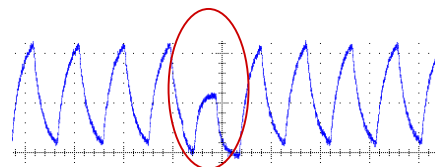
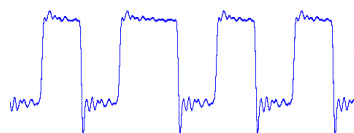
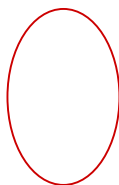
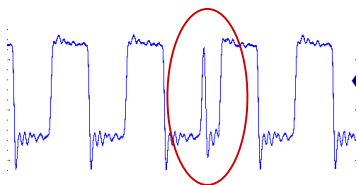
数据串



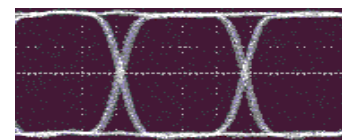
低频脉冲群



重复周期信号中的异常波形



串行数字通讯信号



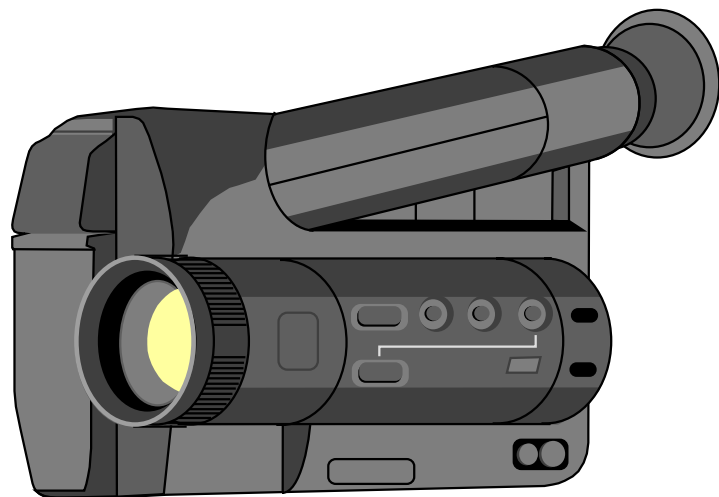
常用电子仪器介绍

摄象机 - 示波器



数字存储
示波器

- 您摄下的图片，它是否与实际发生的情况一致？
- 图片是清晰的还是模糊的？
- 每一秒您能摄下多少张精确的图片？



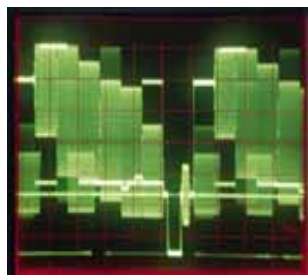
常用电子仪器介绍

现代电子测量的得力工具

示波器技术演变进程

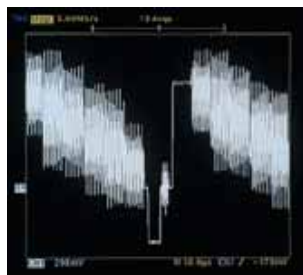


数字存储
示波器



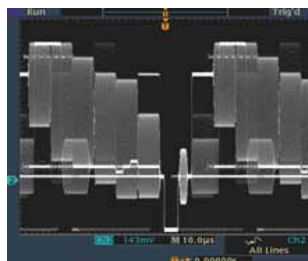
模拟示波器（第一代）

CRT $\longrightarrow$ 屏幕荧光储存示波器 $\longrightarrow$ MCP



数字储存示波器（第二代）

CRT $\longrightarrow$ 取样 $\longrightarrow$ DRT $\longrightarrow$ InstaVu



数字荧光示波器（第三代）

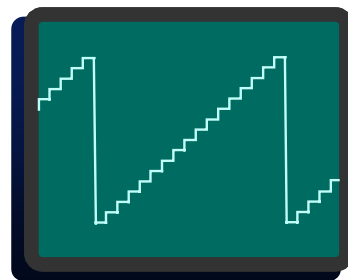
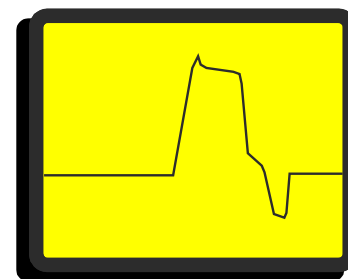
DSO $\longrightarrow$ DPO



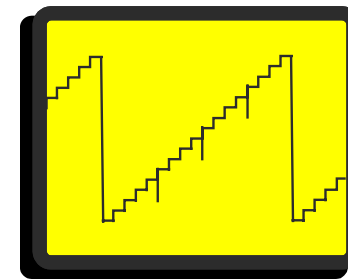
数字示波器捕捉模拟示波器难以发现的问题



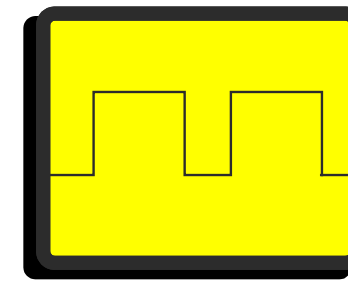
低重复率快前沿信号的细节
(过渡特性)



毛刺的细节



非常低频的信号

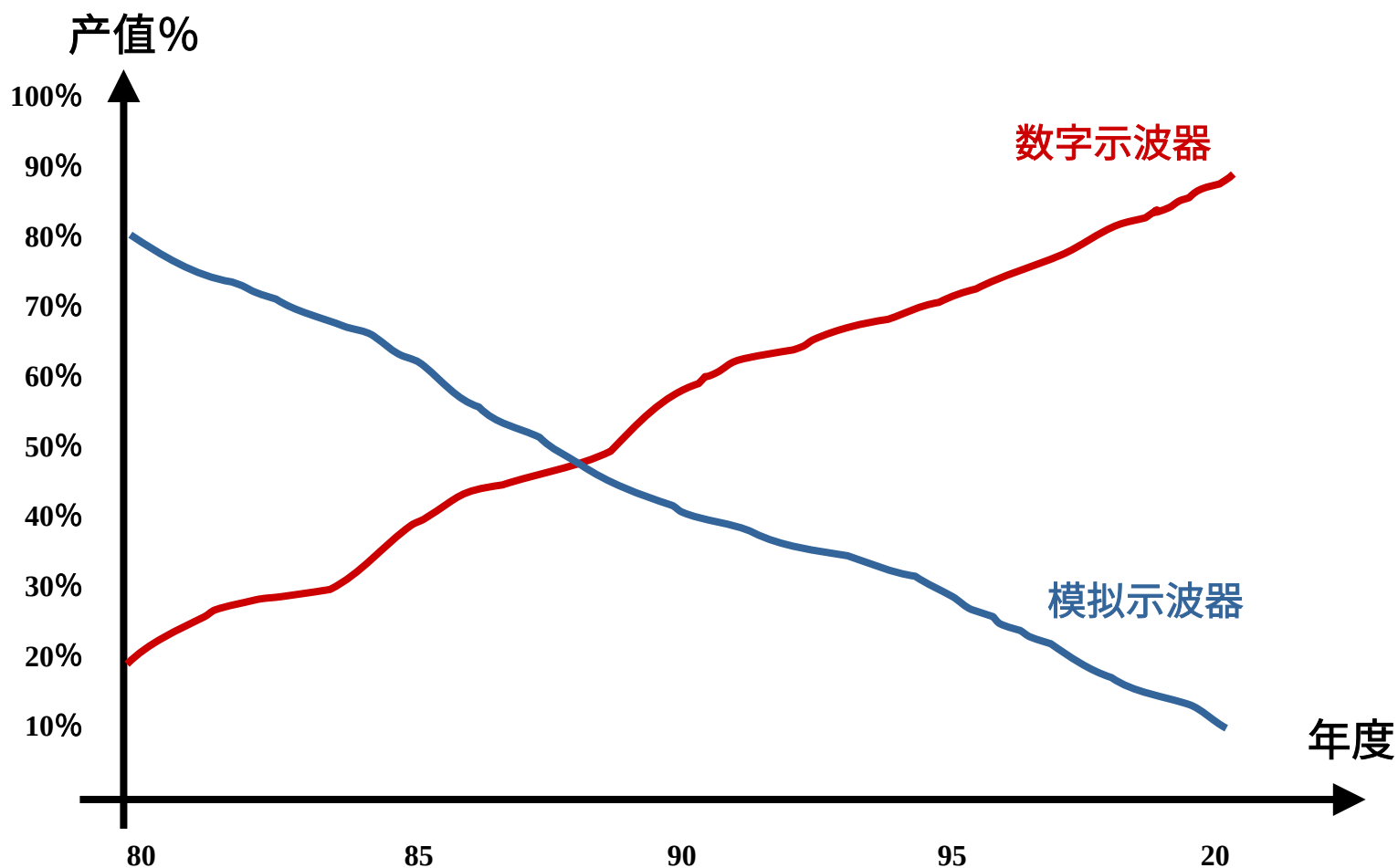


模拟示波器与数字示波器发展趋势



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具



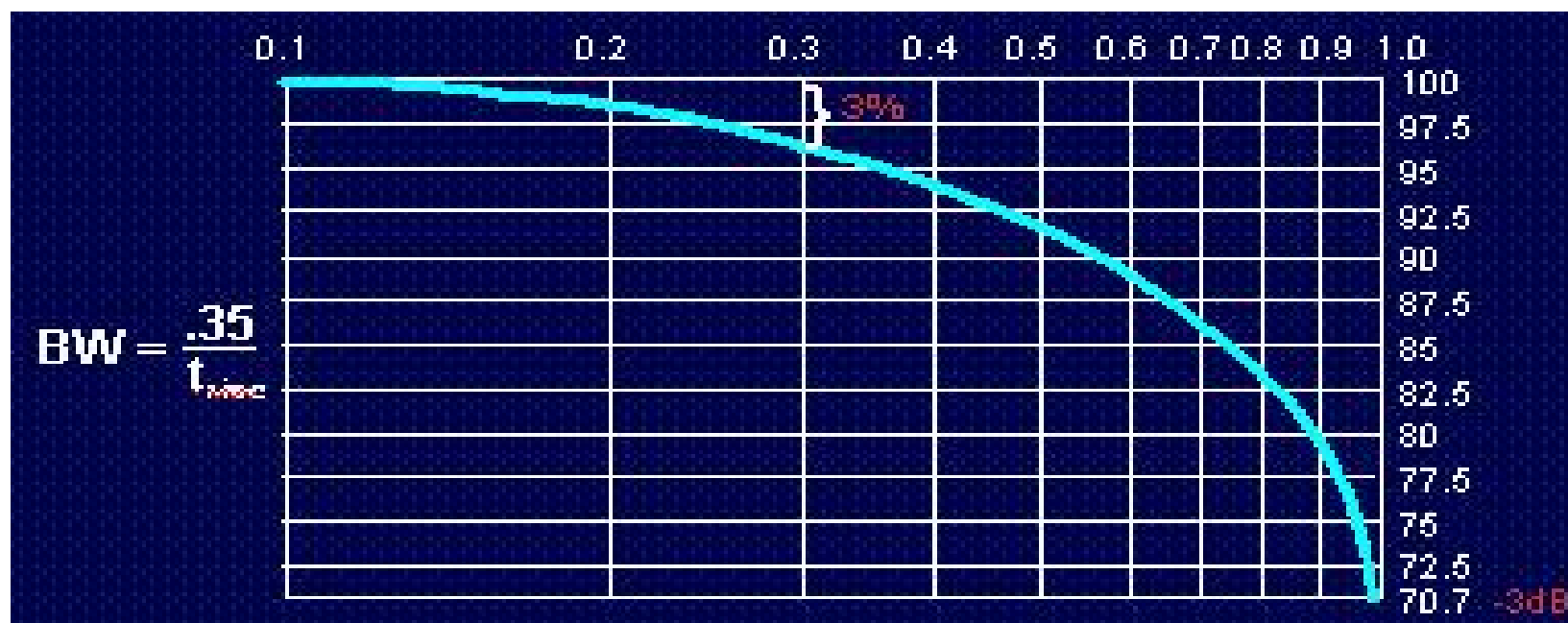
常用电子仪器介绍



示波器带宽

示波器首要规格—带宽

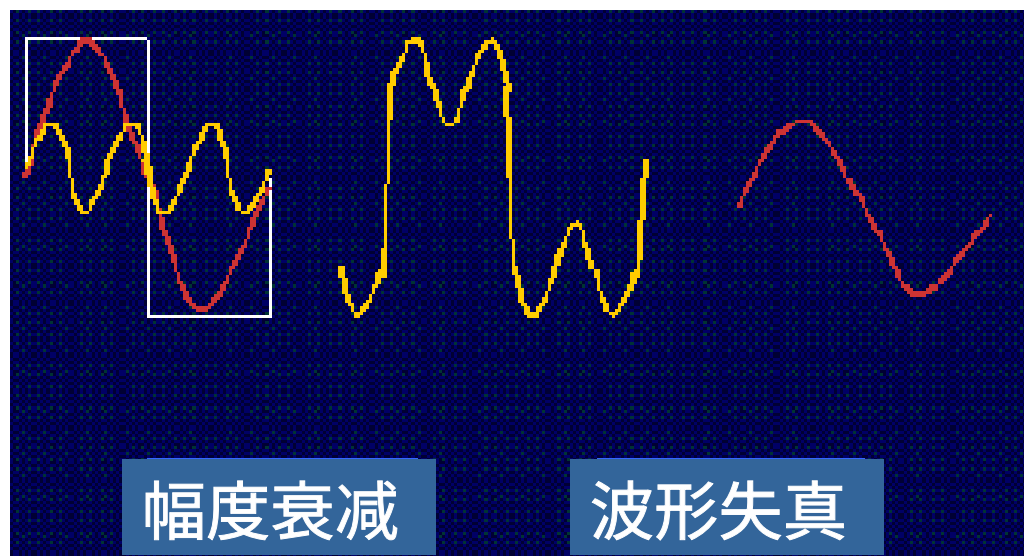
带宽是指示波器垂直放大器的频率响应，定义为：信号幅度下降3dB.在此频点为示波器的带宽





示波器带宽不足导致波形失真

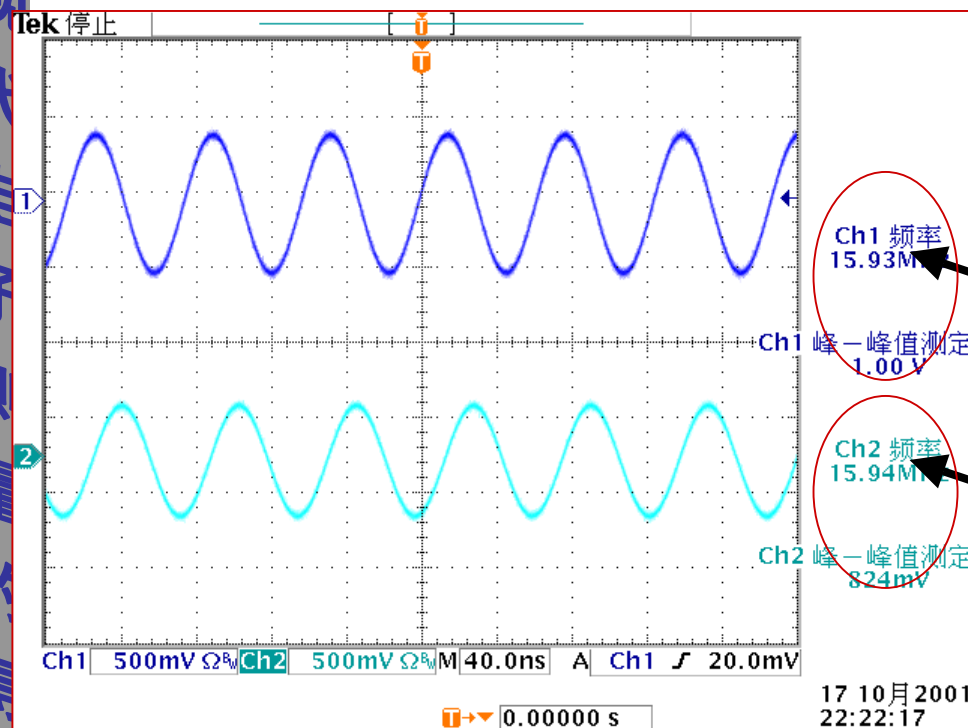
- 非正弦波是由基波加无数次谐波所构成。包含的谐波越多，波形越近似方波。



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.....



示波器带宽对测量影响



例：测量16MHz的正弦波

在150MHz带宽示波器测试
所显示的结果

在20MHz带宽示波器测试
所显示的结果

示波器所显示的波形

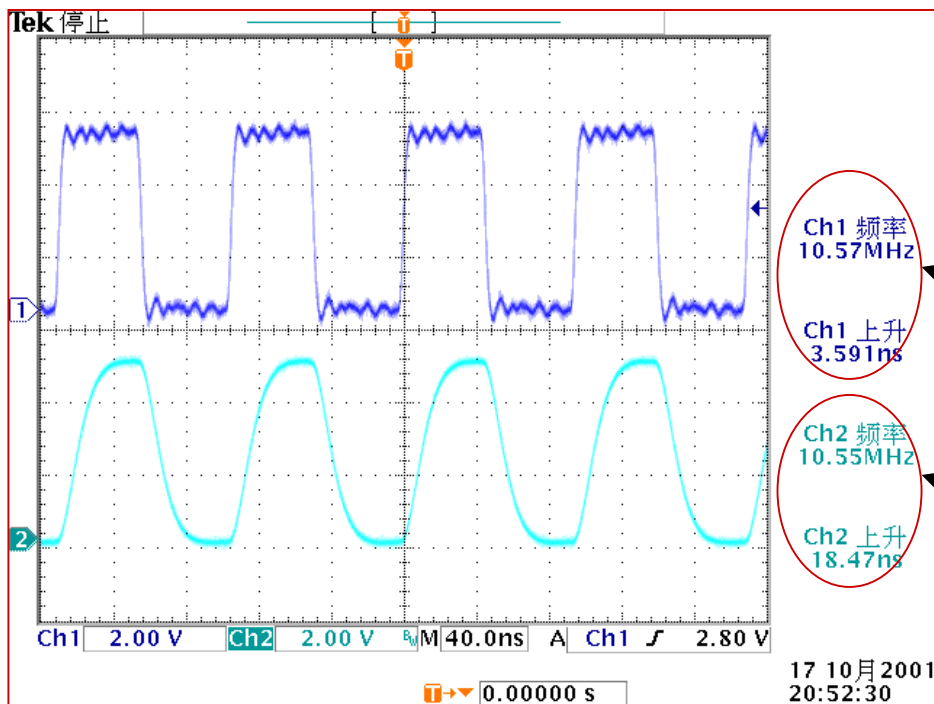


示波器带宽对测量影响

例：测量10.5MHz的方波

在150MHz带宽示波器测试
所显示的结果

在20MHz带宽示波器测试
所显示的结果



示波器所显示的波形



多快才是足够快？

示波器上升时间

上升时间慢/异常幅度衰减

等于信号的上升时间
2 倍于信号的上升时间
3 倍于信号的上升时间
5 倍于信号的上升时间

41%
12%
5%
2%

What you don't know...

...can hurt you!





数字示波器的重要指标-采样率

▶ 奈奎斯特取样原理-采样定理

- 在正弦波上采样，需要在在一个周期采集最少两个以上的点就可重现波形
- $f_s(\text{取样率}) > 2BW(\text{信号频率})$
- 例：100M正弦波信号，最少采样率？
 $200\text{MS/s} > 2 \times 100\text{M}$

▶ 数字示波器的采样技术

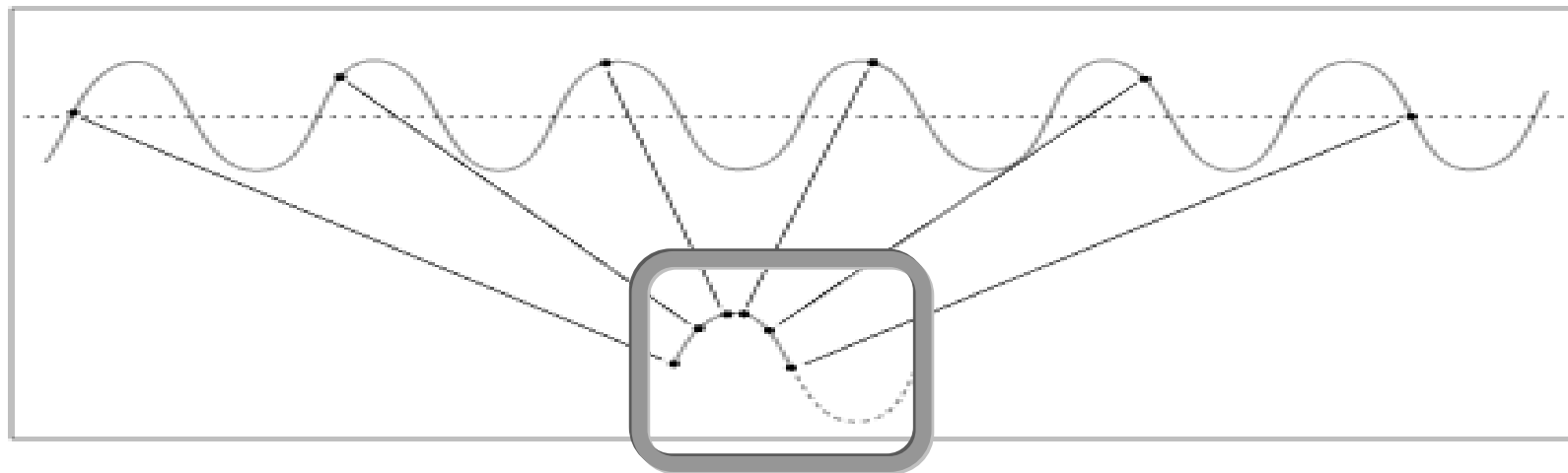
- 数字等效采样
- 数字实时采样

▶ 由于取样技术不同，使数字示波器带宽定义复杂化

- 重复信号带宽即模拟带宽（放大器带宽）
- 单次信号带宽



数字等效采样技术



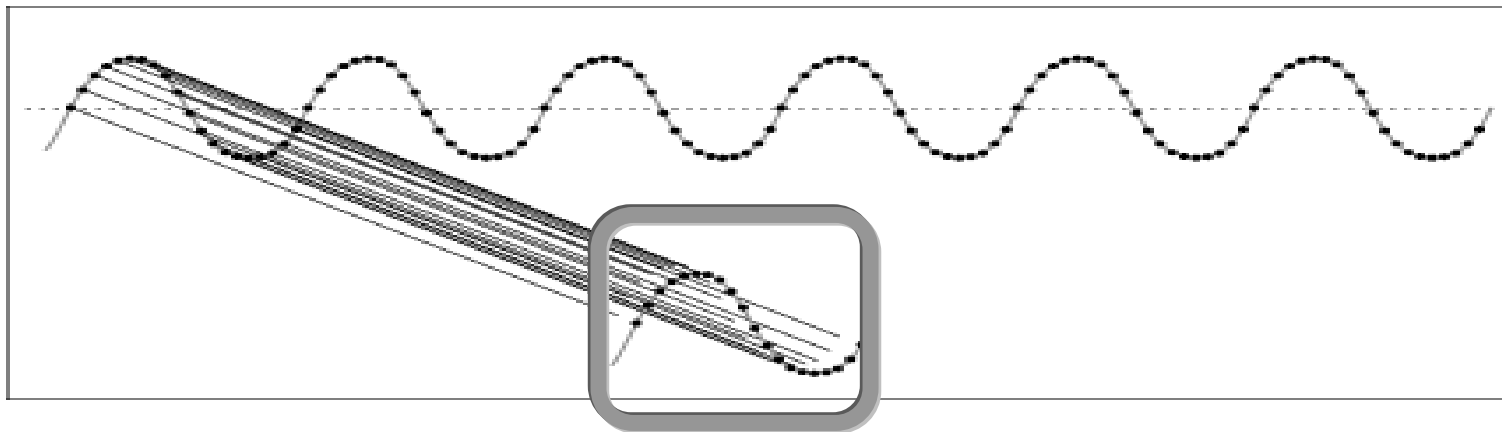
需要对信号进行多次触发，且不能准确捕获非重复信号

从重复周期性信号的不同的周期经过多次单采样，取得足够的采样点来重建这个重复信号的波形。等效采样必须满足两个前提条件：

- 1、信号必须是重复的
- 2、必须能稳定触发



数字实时采样(DRT)

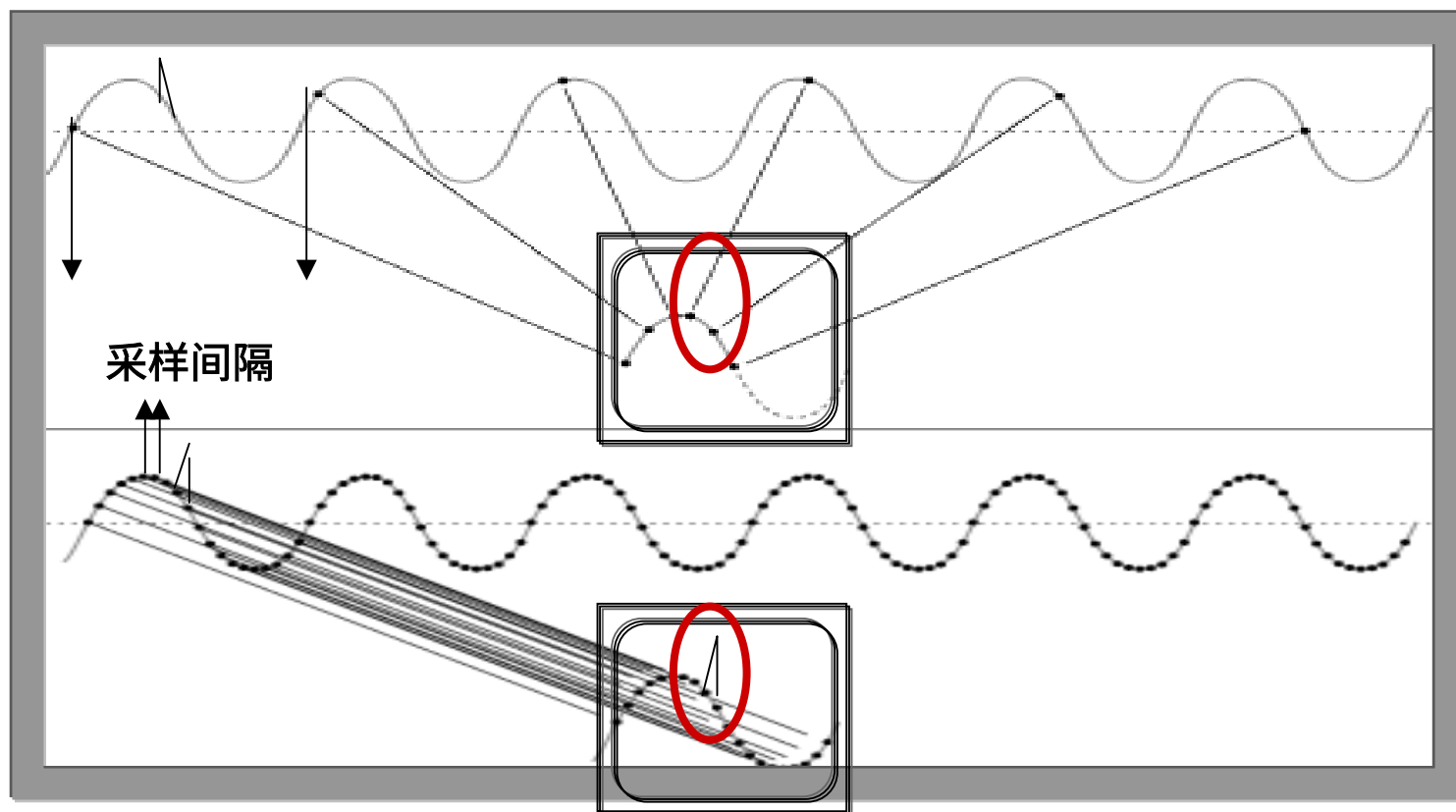


只需一次触发已采集信号所有资料，且能准确地捕获非重复信号

- 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。
- 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及前提。



DRT实时采样技术-数字等效采样与实时采样比较



存在观察信号宏观趋势和信号微观细节的差异



数字存储
示波器

DRT实时采样技术-采样率与单次信号带宽的关系

现代电子测量的得力工具

常用电子仪器介绍

数字示波器的单次带宽定义



数字存储
示波器

- ▶ 为单次(瞬态)信号测量中可获得的最大带宽
- ▶ $BW_s = f_s$ (采样率) $\div k_R$ (与重现技术有关的内插系数)
- ▶ 2.5 . 4 . 10 .
- ▶ 例：内插系数为4，采样率为100MS/s,示波器单次带宽？

$$100\text{MS/s} \div 4 = 25\text{MHz}$$

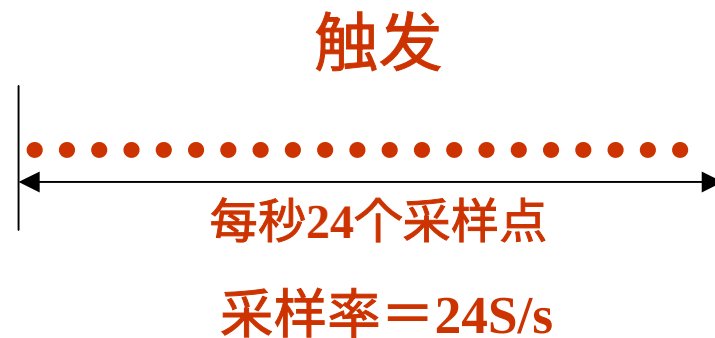
DRT实时采样技术-请注意其他所谓“采样率”



数字存储
示波器

▶ 采样率的标准定义（实时）

- 最高采样率是指在单一触发中，模拟数字转换器能采集的最大采样点数目。



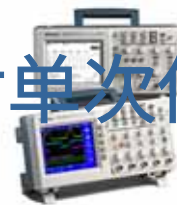
▶ 其他定义（等效）

- 转换率是指最快的水平扫描速度下，把从对重复信号多次触发收集的采样点显示在屏幕上时，点与点之间的最小时间距离。

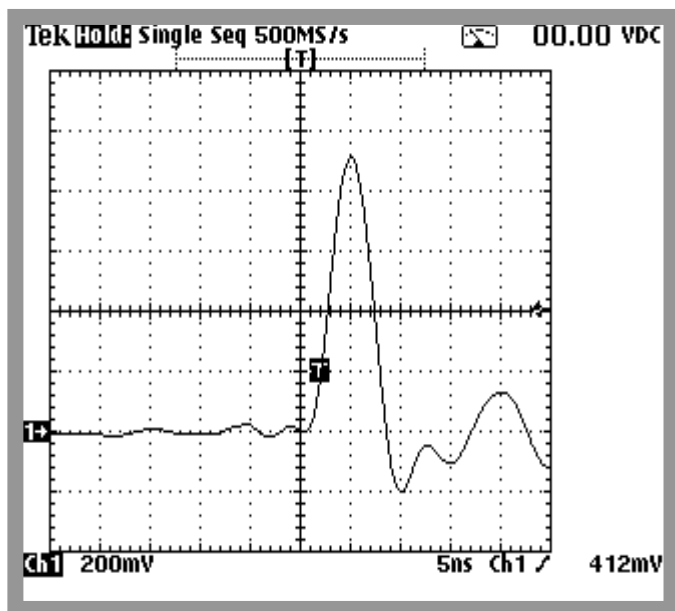
$$\frac{1}{\text{最快扫描速度} \quad \text{(显示屏上每格显示点数目)}}$$

等效转换率
 $= 1 / (5nS/25)$
 $= 5GS/s$

DRT实时采样技术-采样率决定示波器对单次信号数字存储示波器的捕获能力

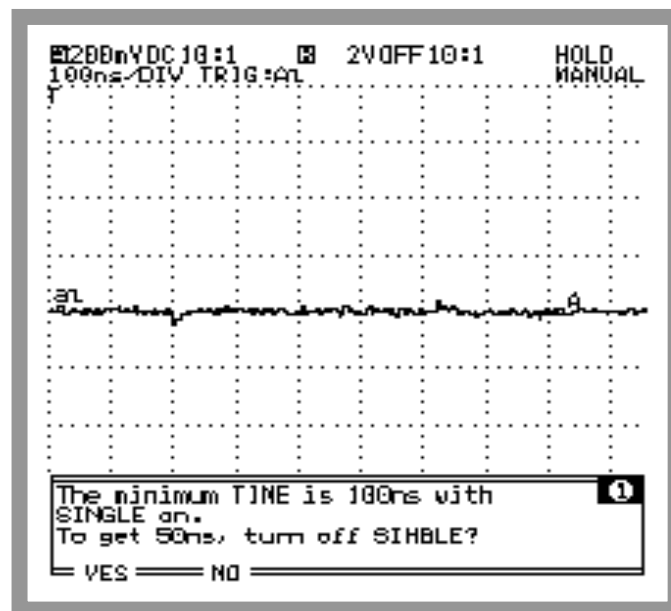


数字存储
示波器



数字示波器

带宽100M，采样率500MS/s



数字示波器

带宽100M，采样率20MS/s

- ▶ 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。（及物理量分析）

常用电子仪器介绍

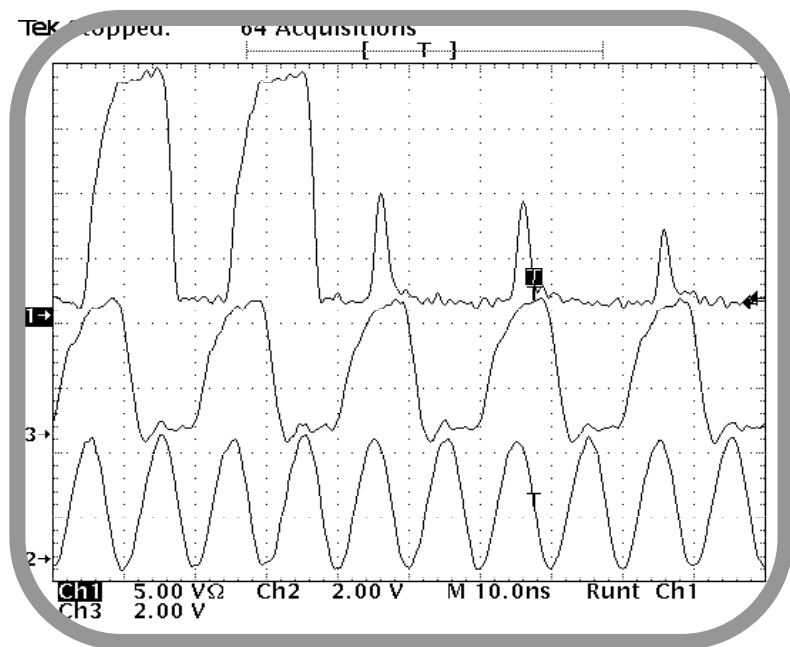
现代电子测量的得力工具



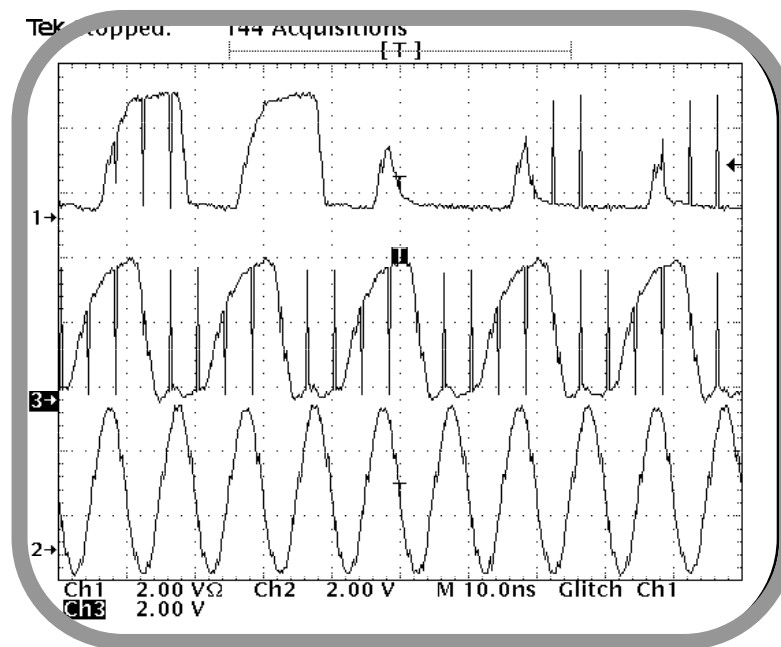
数字存储
示波器

DRT实时采样技术-信号不是完全重复的直观比较

现代电子测量的得力工具



实时取样



等效取样

示波器探头技术及应用



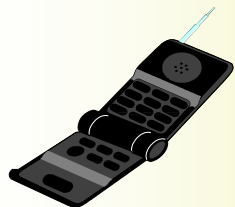
数字存储
示波器



常用电子仪器介绍

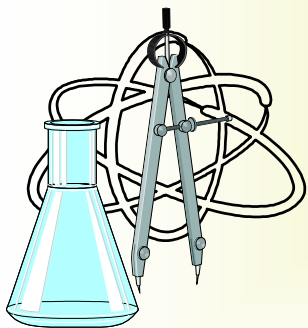
各种应用环境

通用电子与通讯研究



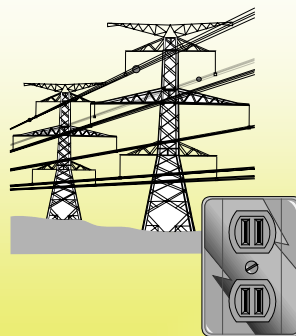
- 高速
- 低信噪比
- 精确/信号重现
- 低负载
- 先进的触发能力

基础研究



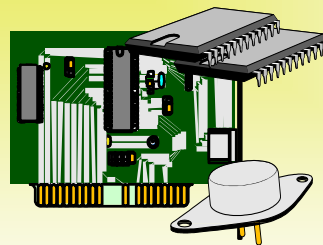
- 复杂信号
- 不确定事件
- 低信噪比
- 分析
- 先进的触发
- 数据资料

电力电子研究



- 安全
- 高电压/电流
- 瞬时功率
- 间隙事件
 - 毛刺, 尖峰脉冲
- 谐波测量, 分析
- 慢信号
 - 长周期
- 报告生成

先进的数字和模拟设计



- 高速
- 不常见的异常事件
- 密集的时序容限
- 精确/信号重现
- 低负载
- 先进的触发
 - 毛刺, 幅度异常, 亚稳态

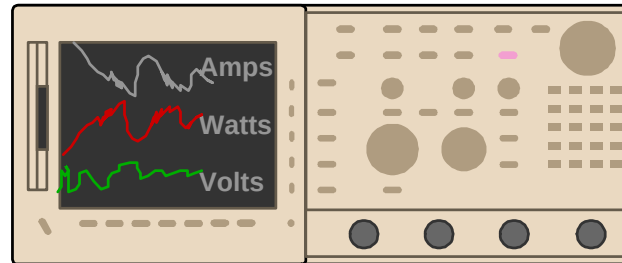


数字存储
示波器

集成测量环境 - 探头是仪器



数字存储
示波器



A

Direct
Readout
Current

- Direct Readout in Amperes & Watts

uV

Low
Amplitude
Differential

- Low-noise uV ranges

KV

High
Voltage
Differential

- Safe floating measurements

FET

Hi Z
Low
Loading

- Minimum Circuit effects

10X

High
Performance
Passive

- Matched to scope

O/E

Optical /
Electro
Converters

- Direct readout in mW

常用电子仪器介绍

探头的类型



数字存储
示波器

现代电子测量的得力工具

现代电子测量的得力工具



Voltage

Logic

Current Temperature Optical

Passive

Active

Passive

Active

Passive

Active

Z0

High Z

Differential

Differential

AC

DC

常用电子仪器介绍

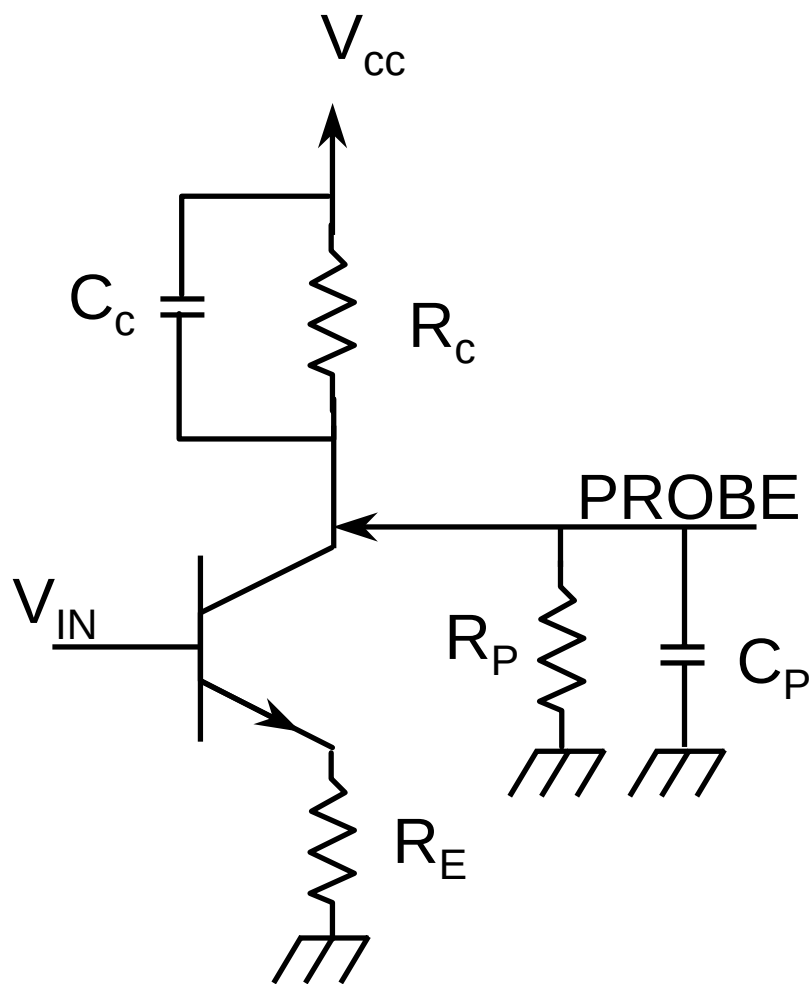


理想的电压探头

- ▶ 理想的探头将不影响信号的测量
 - 带宽无限
 - 零输入电容
 - 无穷大输入电阻
 - 无限动态范围



探头对被测点的影响



— 不加探头

$$\text{Gain} = -\frac{R_C}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_C C_C}$$

— 加探头

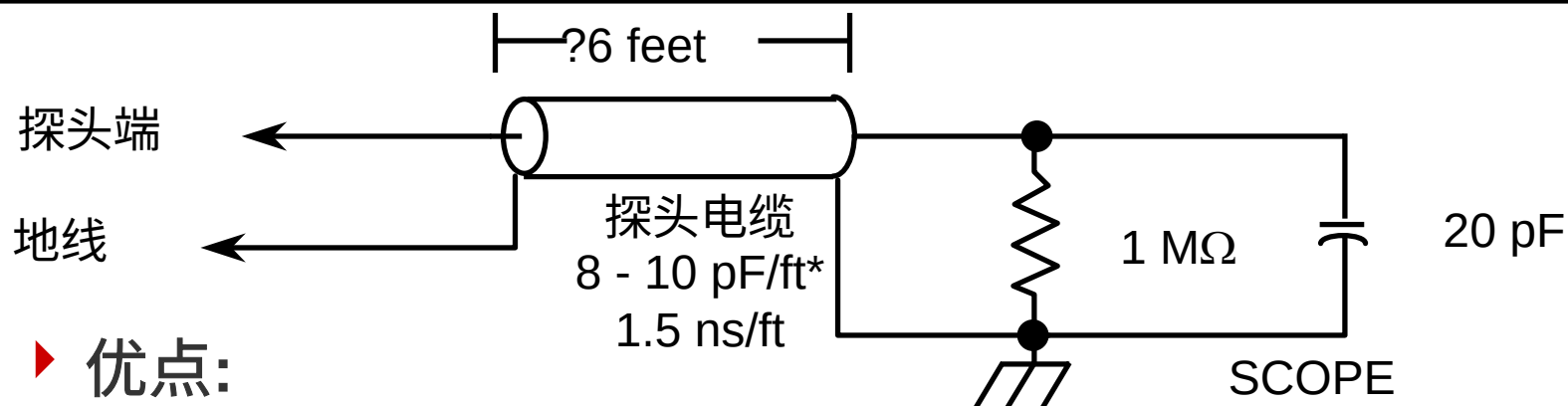
$$\text{Gain} = -\frac{(R_C \parallel R_P)}{R_E}$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi (R_C \parallel R_P)(C_C + C_P)}$$

NOTE: V_{cc} is an AC Ground



1:1无源探头 (导线)



▶ 优点:

- 1X (无衰减)
- 价格便宜

▶ 缺点:

- 端接
 - ▶ 输入阻抗很低
 - ▶ 输入带宽低于15MHz

● 非端接

- 非常高的反射
- 非常高的输入电容
- 低的带宽

* Typical 50Ω cable has about 30 pF/ft of capacitance

10:1高阻无源探头



数字存储
示波器

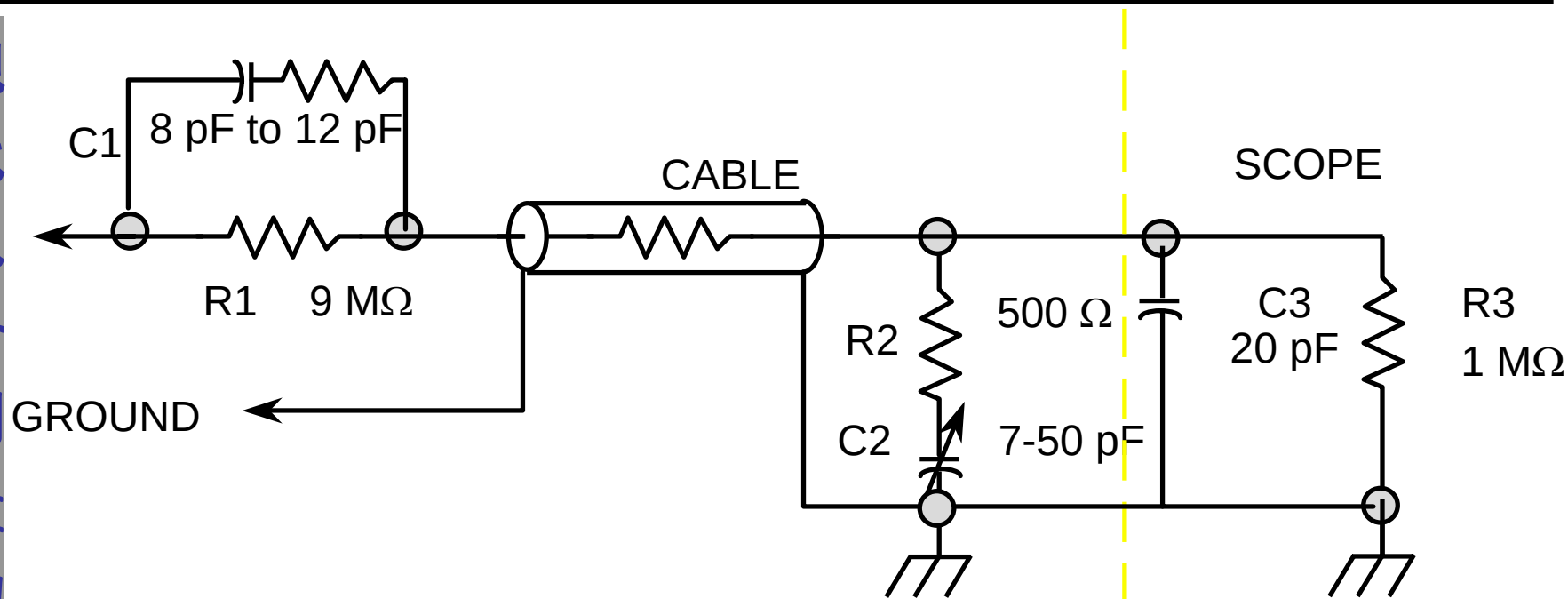
- ▶ 10:1探头是在探头尖端至BNC接头间串入RC并联电路，其中R是 $9\text{M}\Omega$, C是很小的电容（约在 10PF 左右），由于波器的内阻为 $1\text{M}\Omega$ ，因此探头尖端的讯号经过10:1探头后，呈现在示波器端的讯号只有原来的 $1/10$ ，这也是这种探头被称为10:1探头的原因。

现代电子测量的得力工具

典型10:1高阻无源探头模型



数字存储
示波器



- ▶ 电缆衰减引起的反射.
 $R_2 C_2 + \text{SCOPE}$ 对电缆来说不是理想的终端.
- ▶ C_2 = 低频补偿----示波器的输入电容的变化.(见探头补偿部分)
(Impedance probes, C_2 is adjustable. In others, C_1 is adjustable.)



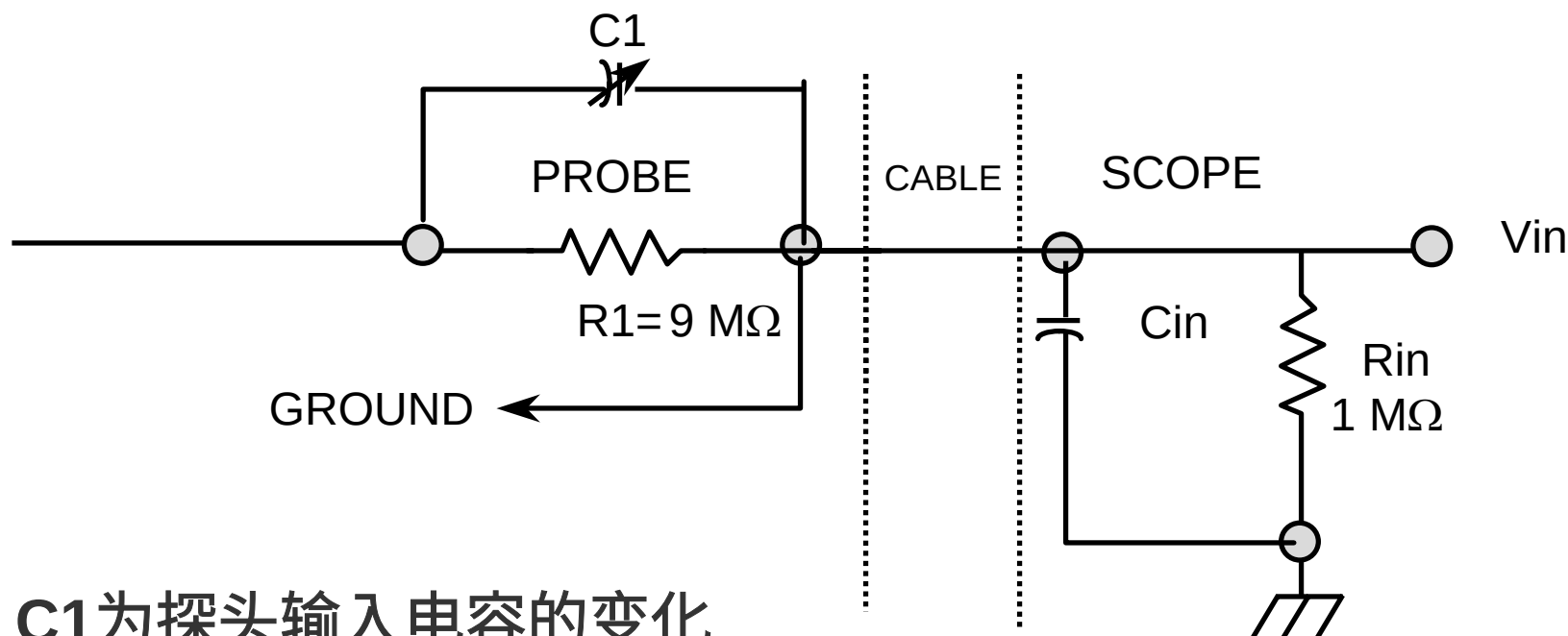
其他问题

- ▶ 补偿
- ▶ 系统的带宽
- ▶ 幅度的精度与频率的关系
- ▶ 接地

探头补偿 -10:1探头模型



数字存储
示波器

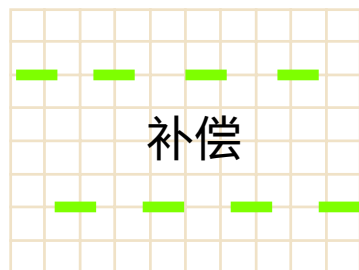


- ▶ C1为探头输入电容的变化
- ▶ $R1 \times C1 = R_{in} \times C_{in}$
- ▶ $C1 = 1/9 C_{in}$

探头补偿



数字存储
示波器

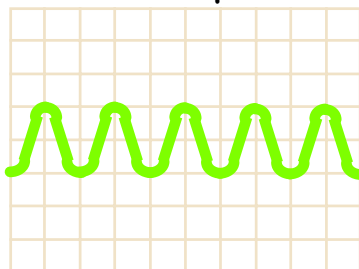


补偿

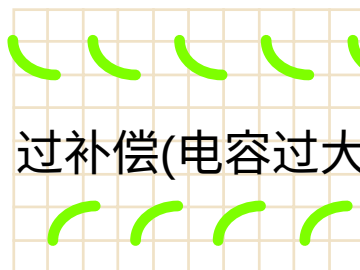
1 ms/div



1 μ s/div



50 kHz

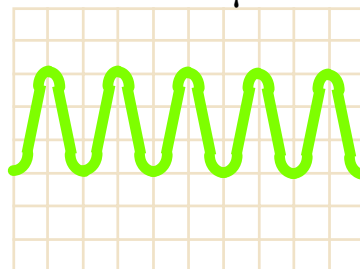


过补偿(电容过大)

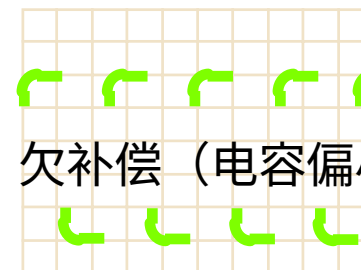
1 ms/div



1 μ s/div

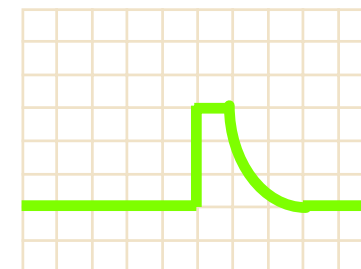


50 kHz

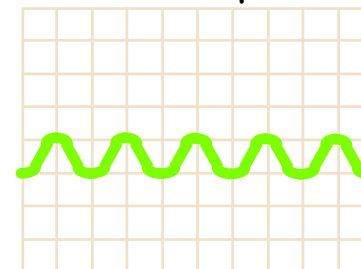


欠补偿 (电容偏小)

1 ms/div



1 μ s/div



50 kHz



系统的带宽

- 系统的上升时间

$t_r(10\% \sim 90\%)$

$$tr(\text{System}) = \sqrt{t_{r(\text{scope})}^2 + tr(\text{probe})^2}$$

- 系统的带宽

BW(-3dB)

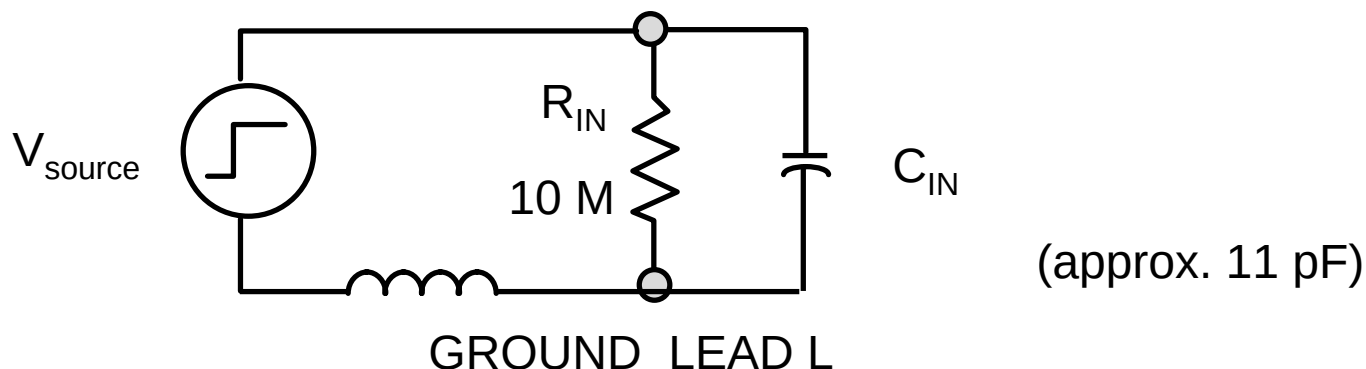
1

BW(SYSTEM)=

$$\sqrt{\left(\frac{1}{BW_{(\text{scope})}}\right)^2 + \left(\frac{1}{BW_{(\text{scope})}}\right)^2}$$



接地线效应



- 在实际的测量中,测量性能常常由探头的接地线来定,而不是探头和仪器的带宽或输入阻抗.

接地线效应

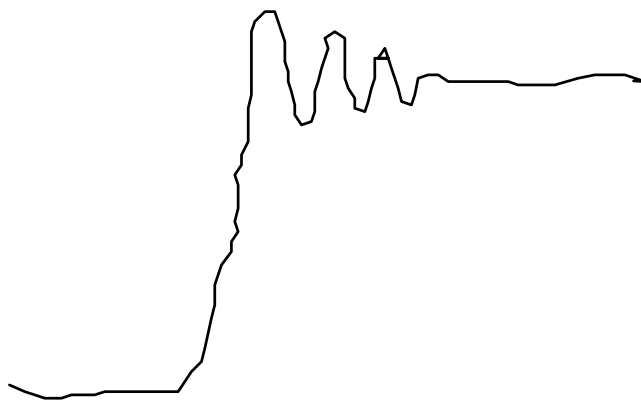


数字存储
示波器

使用10X无源探头，输入电容10pF，6“接地线

振铃幅度=50% 误差

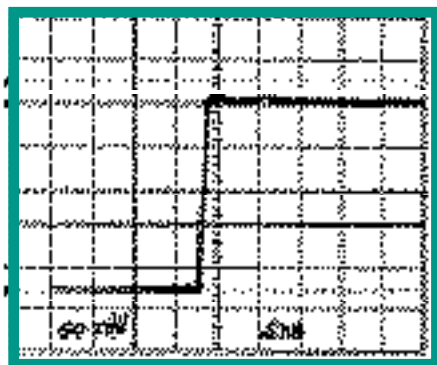
$$\text{典型的振铃频率} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 50\sim 70\text{Mhz} \quad \text{OR} \quad \text{上升时间} = 7\sim 5\text{ns}$$



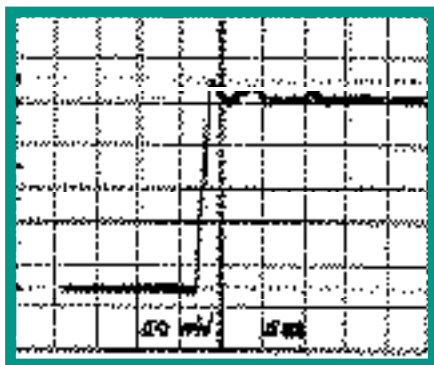
接地线效应



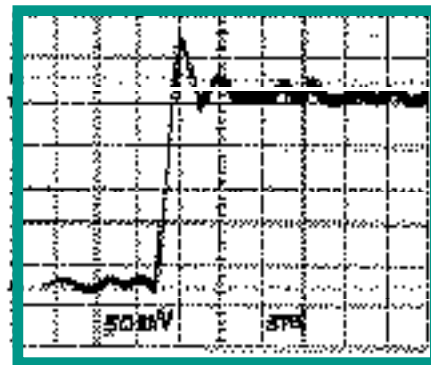
数字存储
示波器



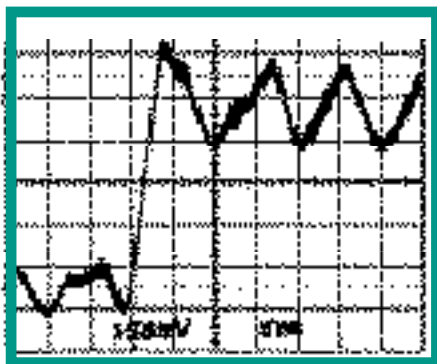
Coaxial Cable



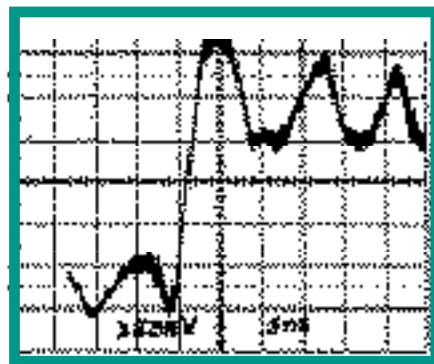
BNC Probe Adapter



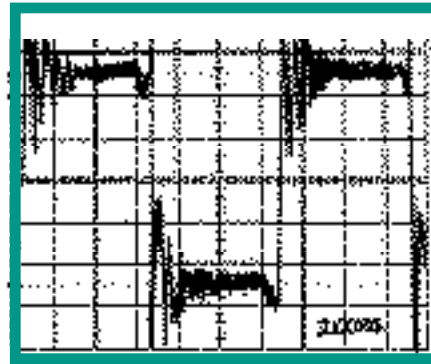
1" Ground Adapter



3" Low Z Ground Lead



6" Ground Lead



No Ground Lead

The signal source is a 1ns rise time step from a 50Ω source.

常用电子仪器介绍



探头传输延迟

- ▶ 4~8ns的延迟
 - 对不同类型的探头.
- ▶ 同类探头一般的延迟<200ps.

现代电子测量的得力工具



探头输入阻抗小结

- ▶ 在脉冲上升时间的测量中,输入电容比输入电阻起到更重要的角色,最小的输入电容降低上升时间的测量误差.
- ▶ 输入电容和电阻是探头的典型指标
- ▶ 在脉冲幅度测量中,较高的输入阻抗将更精确.
- ▶ 在正弦波幅度测量中,探头输入阻抗将受频率的影响.
- ▶ 使用短的接地线或使用PCB-TO-PROBE-TIP适配器来降低接地线的感应.
- ▶ 使用有源和匹配探头降低探头的输入电容.

致谢



数字存储
示波器

- ▶ 感谢海洋公司 www.oitek.com.cn 提供TDS系列示波器相关的资料