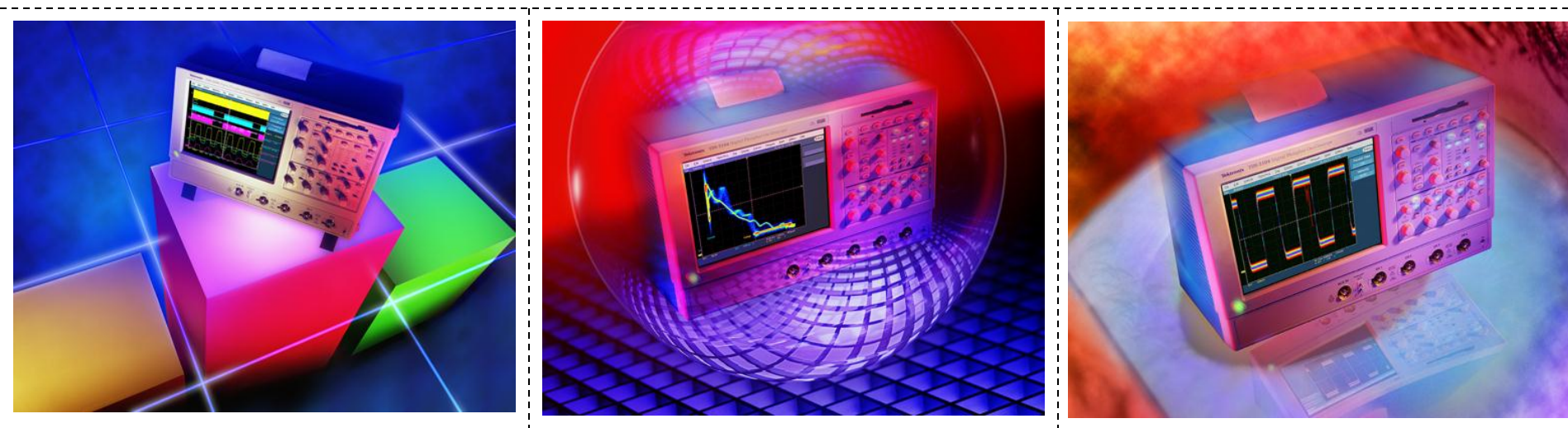


Tektronix示波器培训



Agenda

▶ 示波器篇

示波器的应用范围

示波器的参数

示波器的基本原理

▶ 探头篇

探头的分类及应用

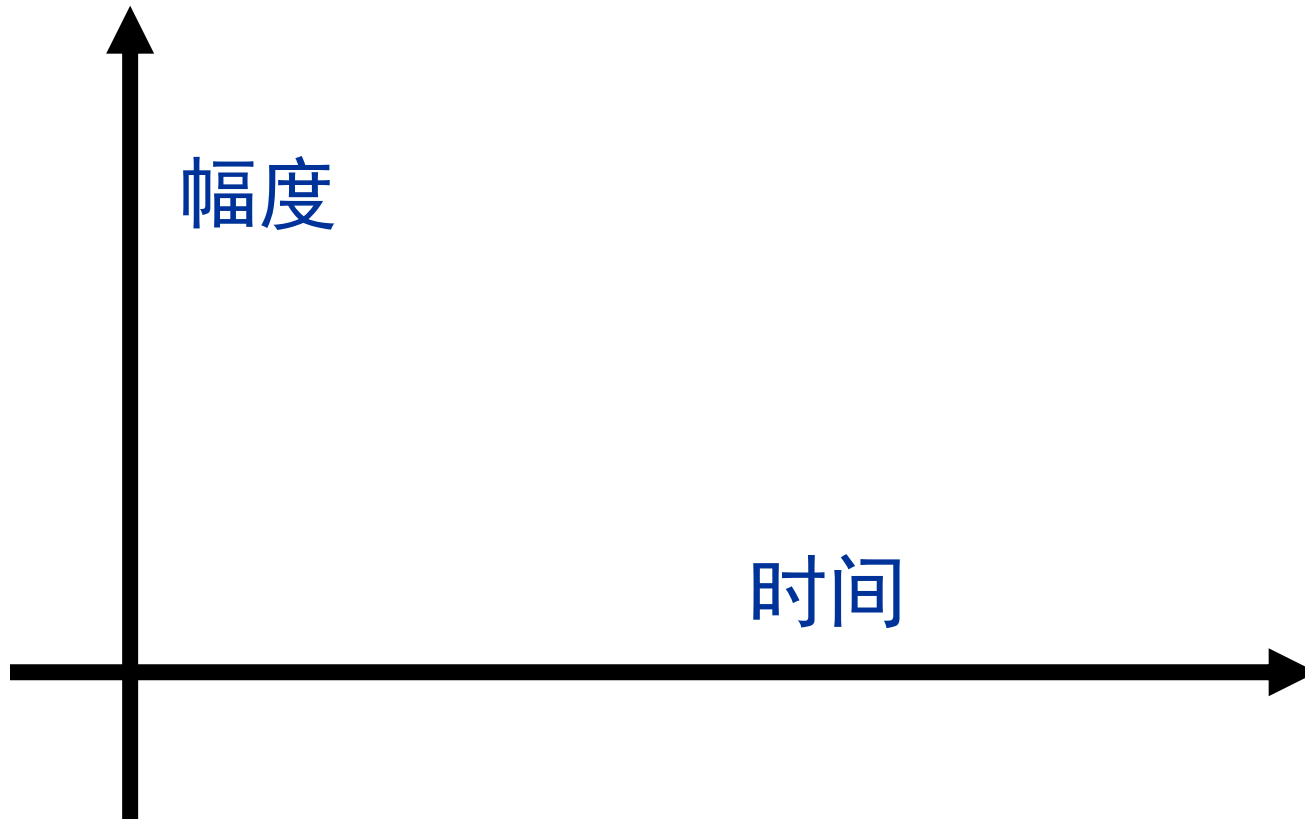
▶ 应用篇

示波器的使用注意事项

示波器篇



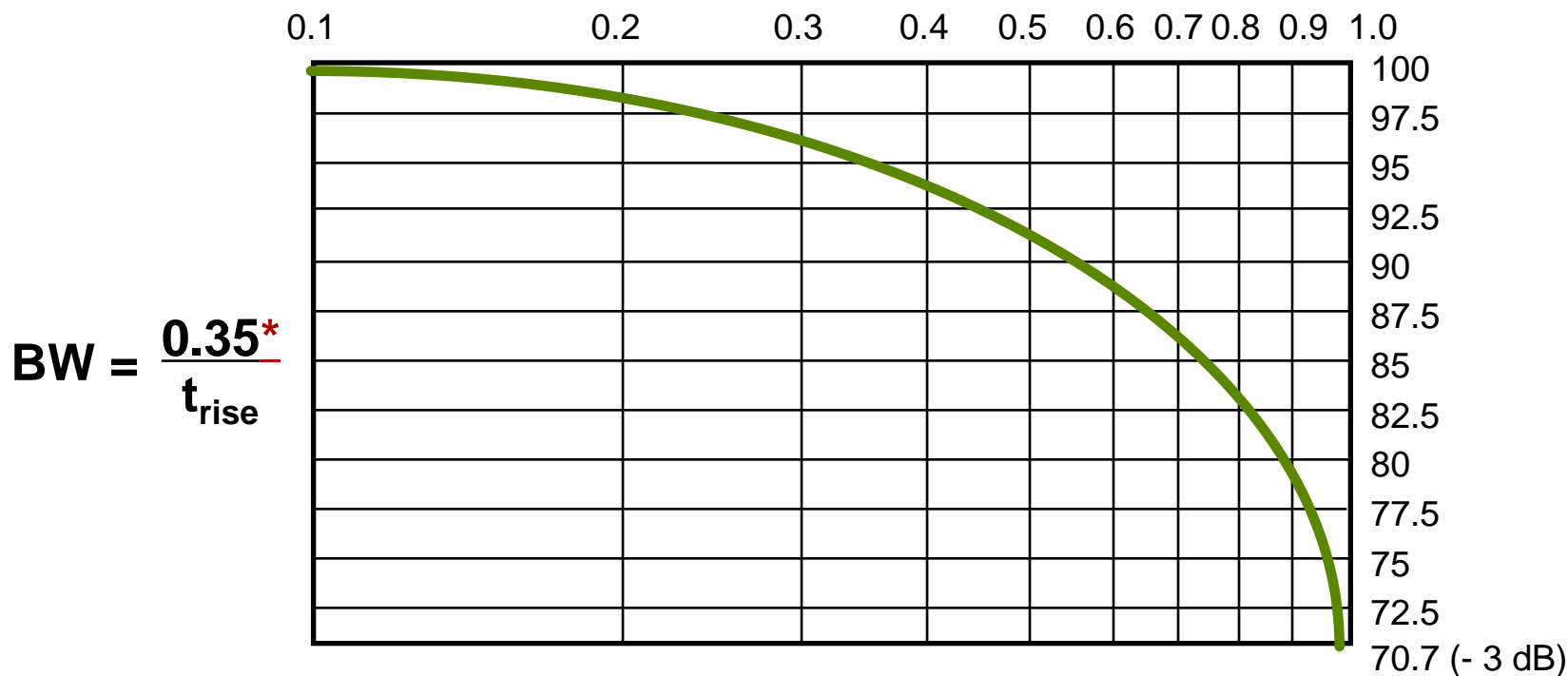
示波器显示波形



衡量示波器的指标

- ▶ 带宽
- ▶ 上升时间
- ▶ 采样率
- ▶ 存储深度
- ▶ 波形捕获率
- ▶ 丰富的分析功能

示波器带宽定义

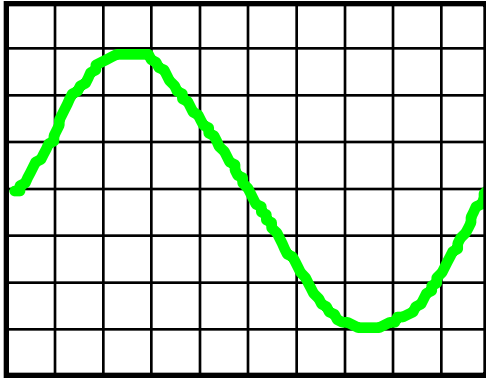


- 电路网络对信号的幅频响应特性，对信号幅度衰减为-3dB点的频率范围。
- 在 -3dB 带宽频率，信号的垂直幅度误差大约为30%
- * 此系数仅适合高斯系统，目前的一些示波器其系数已经达到0.45

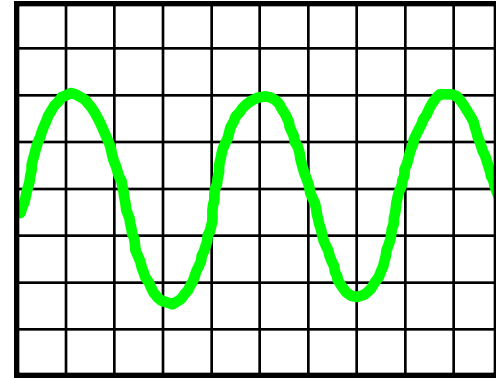
示波器带宽对被测信号的影响

- 例：100M带宽示波器输入100M 1V正弦波观察到的将是100M 0.707V。
- 对于非正弦波的波形，必须考虑其谐波。

示波器的带宽



0 dB
6 div at 50 kHz



- 3 dB
4.2 div at bandwidth

上升/下降时间 vs. 示波器带宽

上升时间(示波器) $\sim 0.35/\text{带宽(示波器)}$

2 GHz BW Oscilloscope has $\sim 200\text{ps}$ Risetime

4 GHz BW Oscilloscope has $\sim 100\text{ps}$ Risetime

用 2GHz 带宽示波器测试 100ps 上升时间

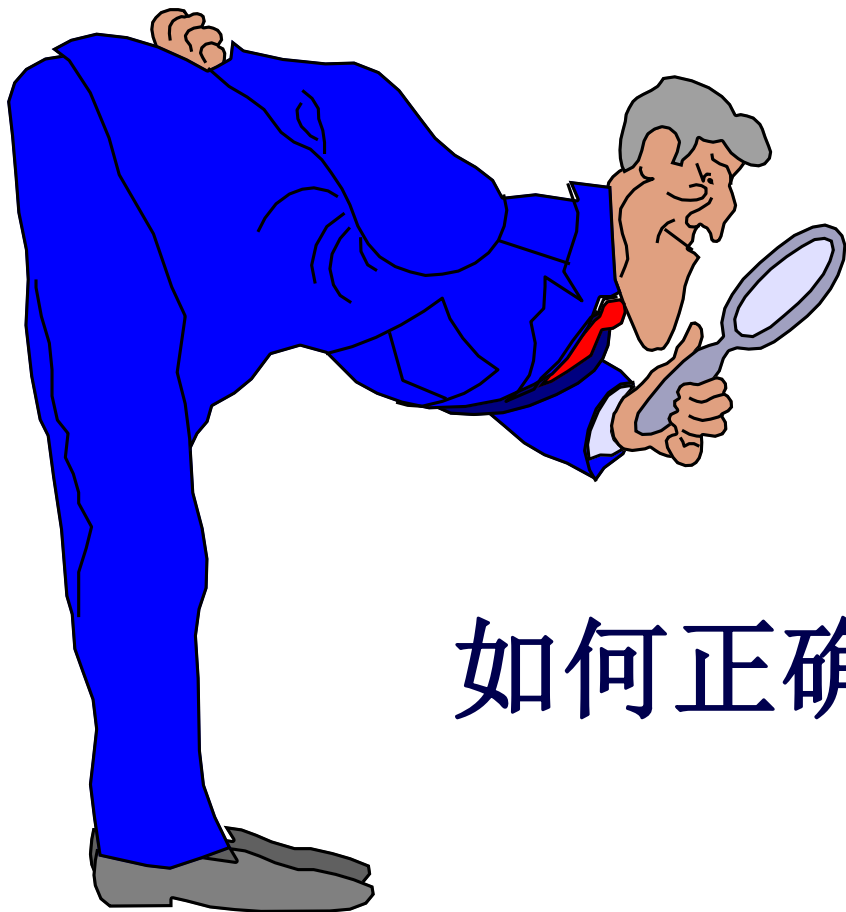
$$\text{RT}(\text{measured}) = \text{SQRT}[\text{RT}(\text{measure system})^2 + \text{RT}(\text{Signal})^2]$$

$$\text{RT}(\text{measured}) = \text{SQRT}[200\text{ps}^2 + 100\text{ps}^2] = 224\text{ps}!$$

用 4GHz带宽示波器测试 100ps 上升时间

$$\text{RT}(\text{measured}) = \text{SQRT}[\text{RT}(\text{oscilloscope})^2 + \text{RT}(\text{Signal})^2]$$

$$\text{RT}(\text{measured}) = \text{SQRT}[100\text{ps}^2 + 100\text{ps}^2] = 140\text{ps}!$$



如何正确的选择示波器？

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 | 41% |
| 比信号的上升时间快2倍 | 12% |
| 比信号的上升时间快3倍 | 5% |
| 比信号的上升时间快4倍 | 3% |
| 比信号的上升时间快5倍 | 2% |

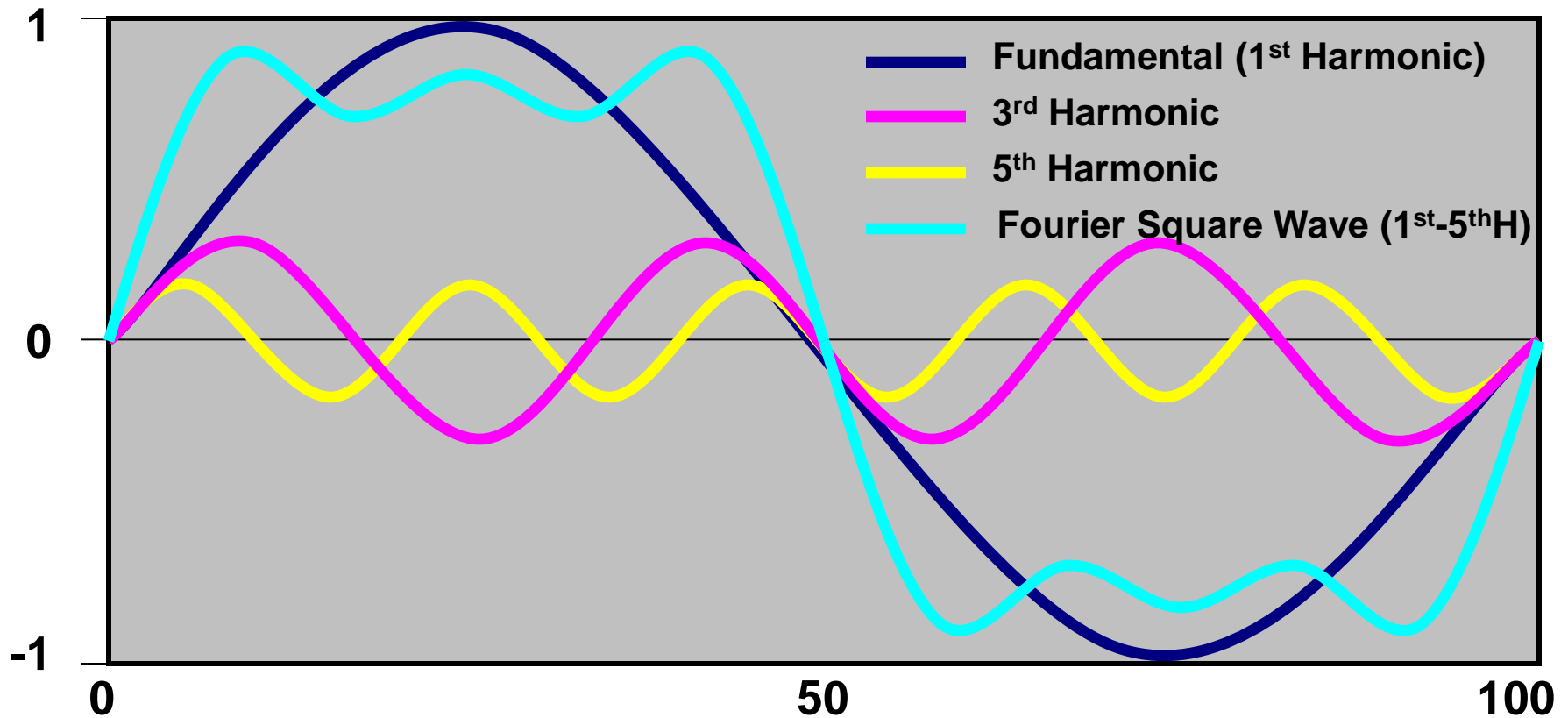
What you don't know...

...can hurt you!

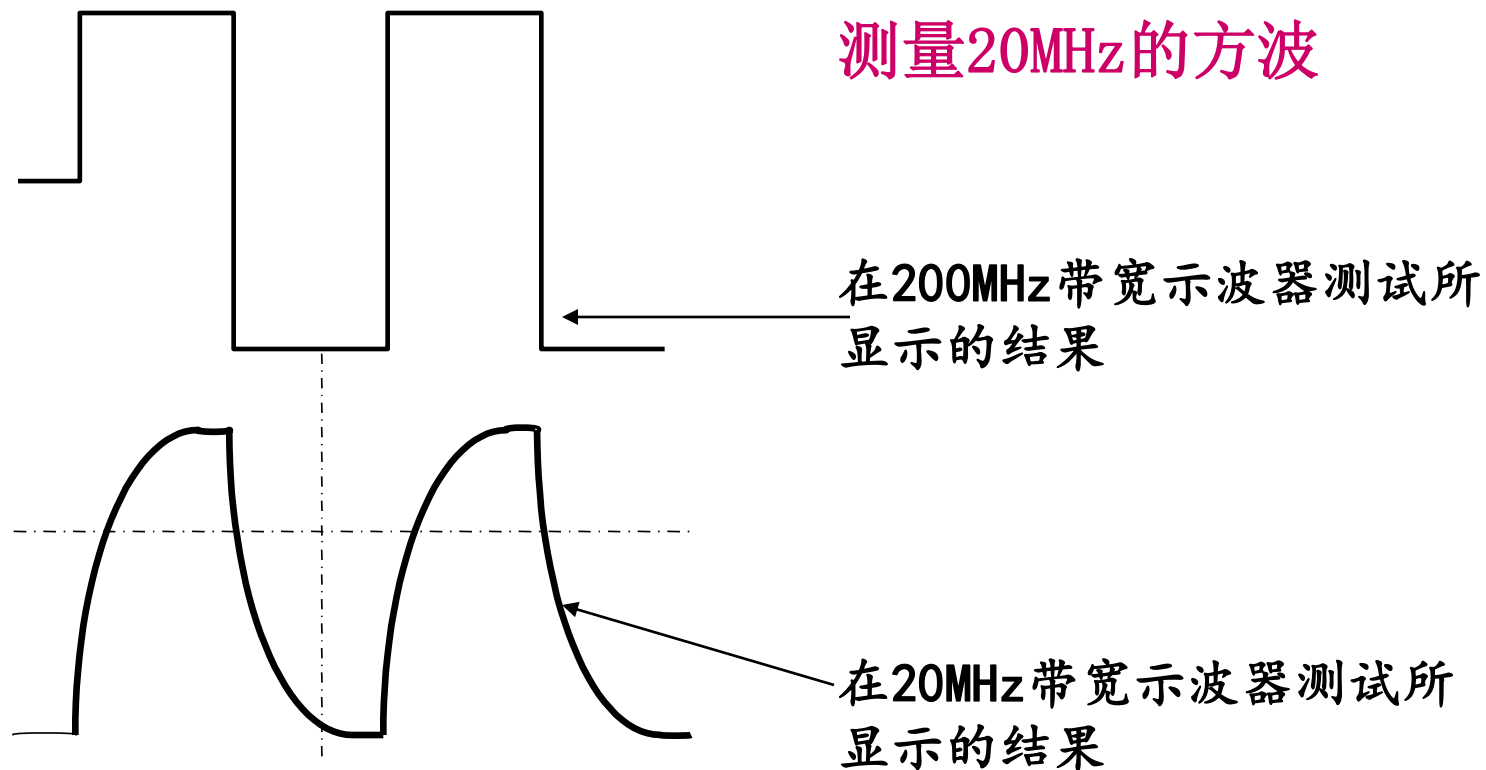


带宽 & 谐波

Digital Square Wave – Odd Fourier Sums

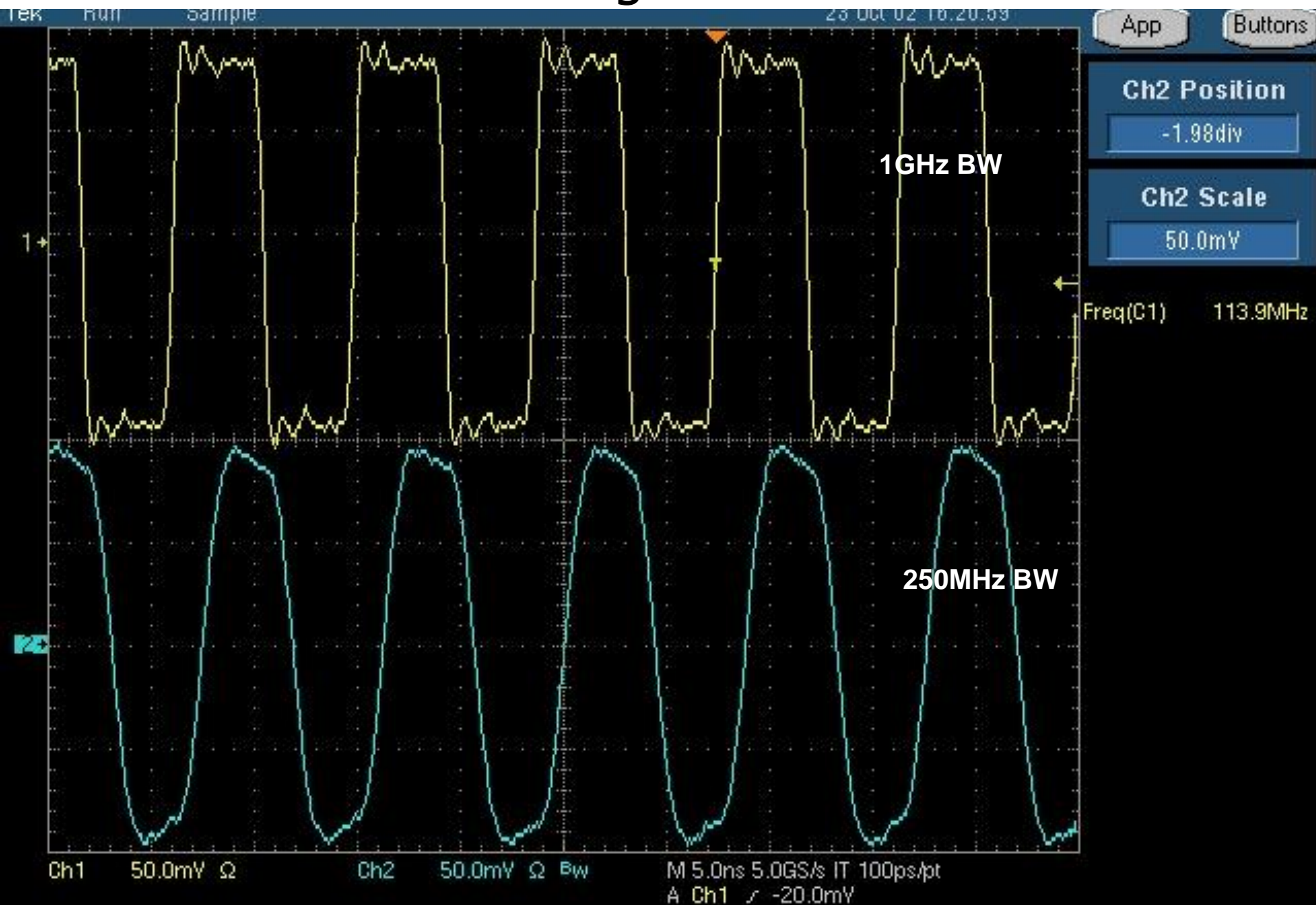


示波器带宽对测量波形影响



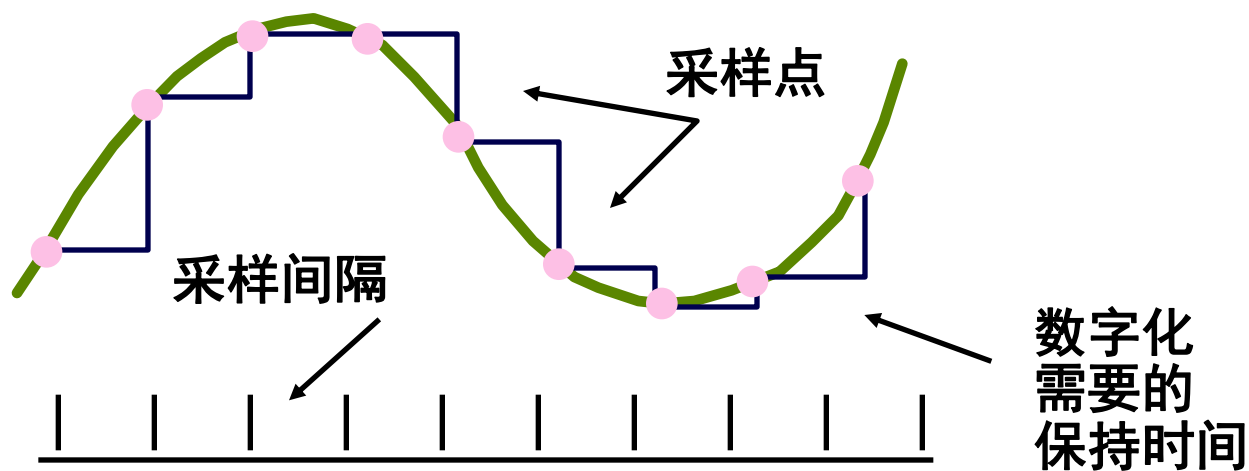
示波器所显示的波形

114 MHz Clock Signal - "5 Times" Rule



采样

在特定的时间点采集输入信号的值



- ▶ 采样率：示波器采集模块对信号每秒的采样点数。
- ▶ 采样点等时间间隔分布
- ▶ 采样率以 样点数/秒描述(S/s, kS/s, MS/s, GS/s)

存储深度

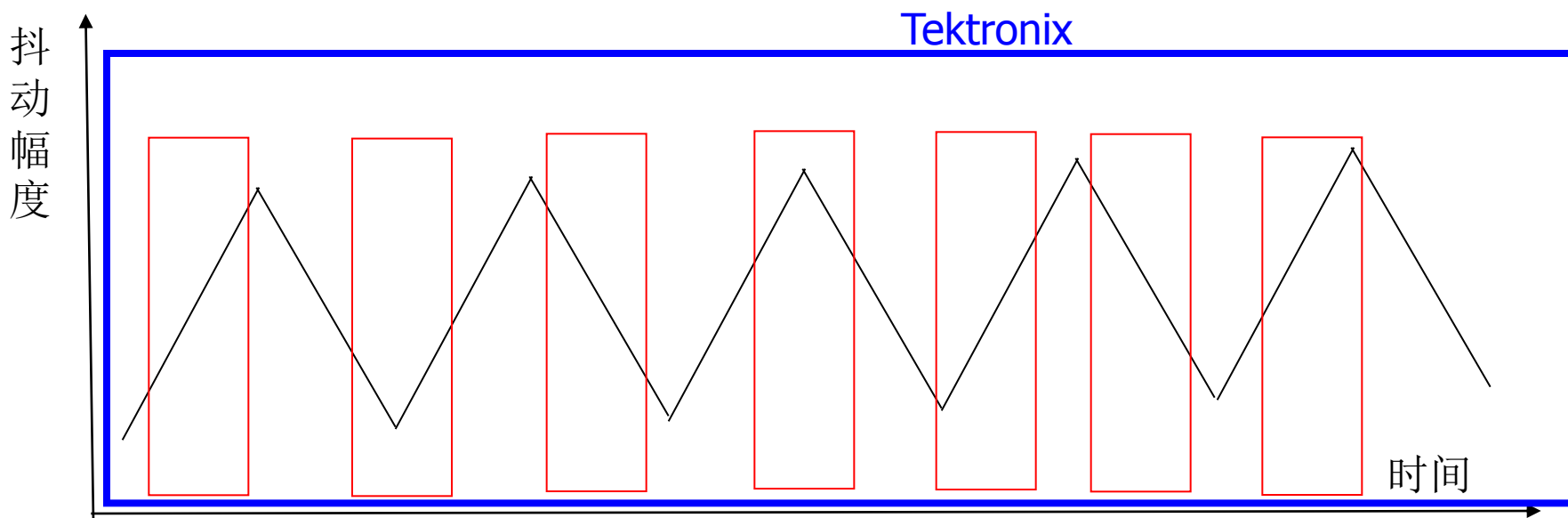
存储深度: 高速采集存储器的存储空间的大小

存储深度 = 采样窗口 X 采样率

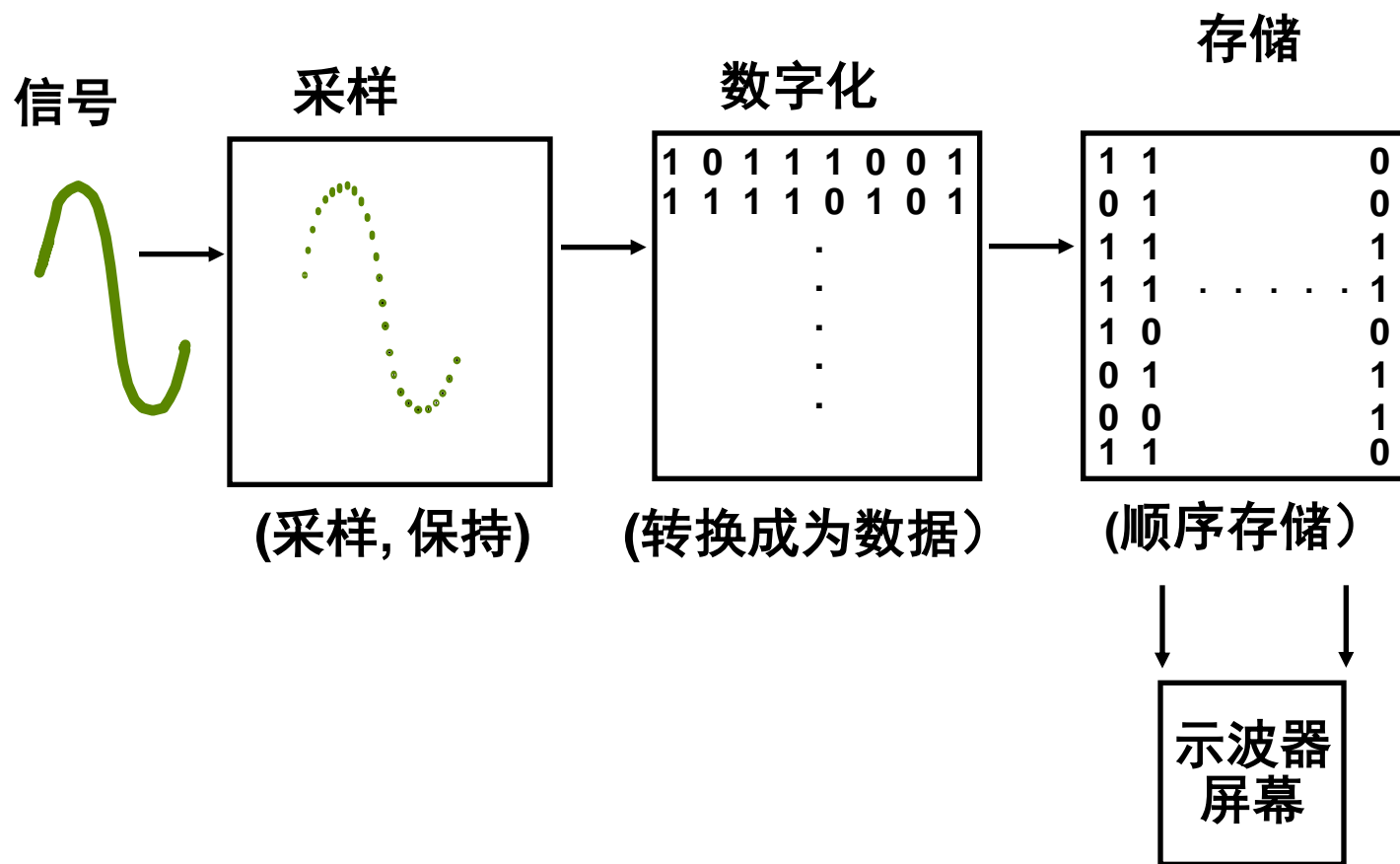
$$20\text{MS} = 1\text{ms} \times 20\text{GS/s}$$

眼图和抖动测试对示波器存储深度的要求

- ▶ 为保证充分体现信号特性以及测试结果的客观性，进行眼图和抖动分析的时候，很多串行测试规范规定了示波器采集数据信号的最小存储深度。例如**PCIE 2.0**的规范要求捕获**1Mllion UI**的**Bit**,需要的存储深度至少为**8M**。
- ▶ **HDMI 1.4** 需要至少**16M**的存储深度进行分析。



采样时发生了什么？



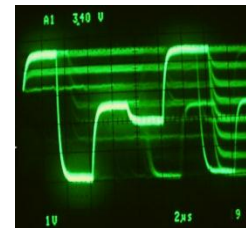
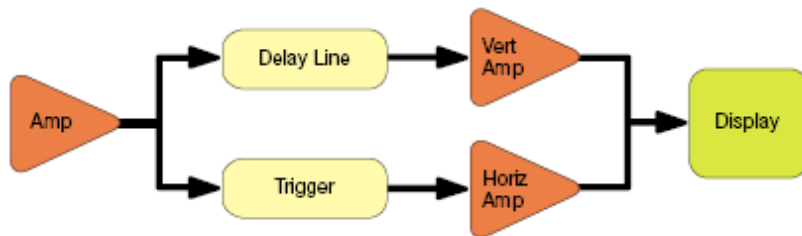
第三代示波器

一种新的示波器技术

实时地 存储, 分析, 显示复杂的动态信号

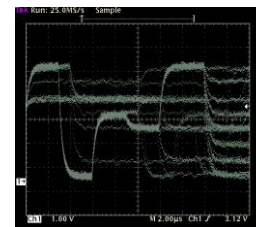
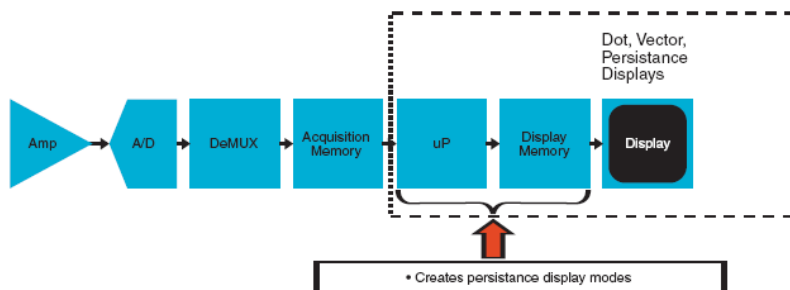
三代示波器比较——原理决定应用

ART



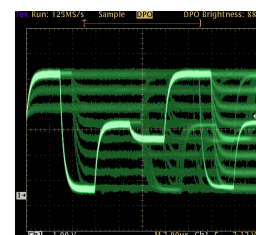
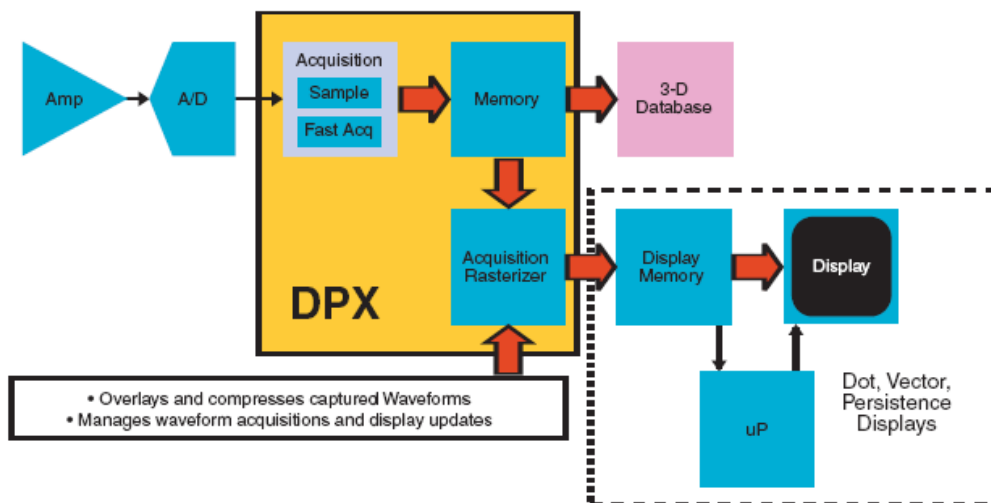
模拟显示

DSO



串行处理

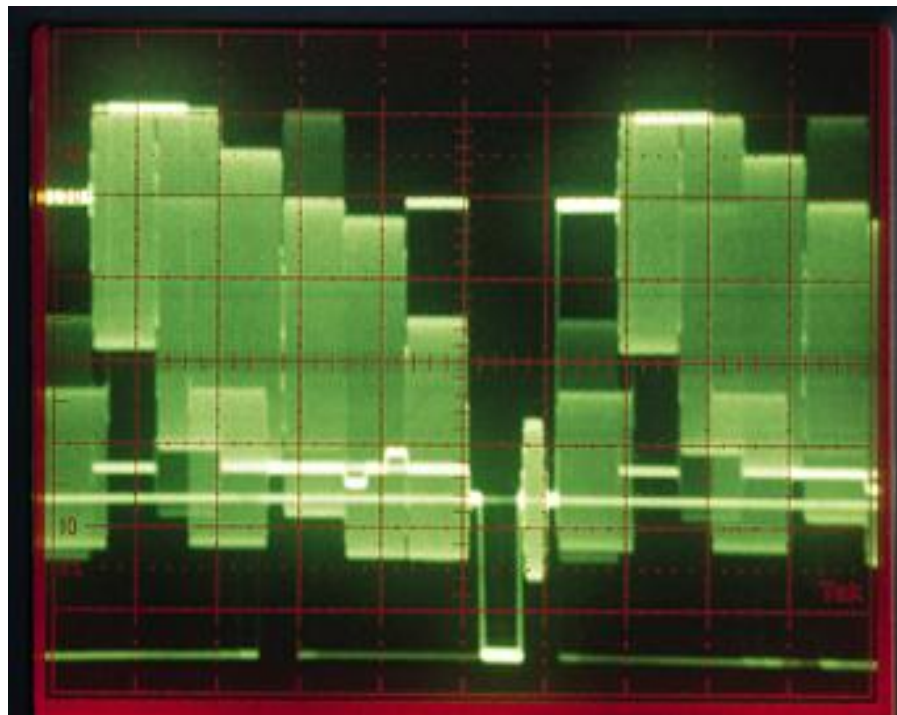
DPO



并行处理

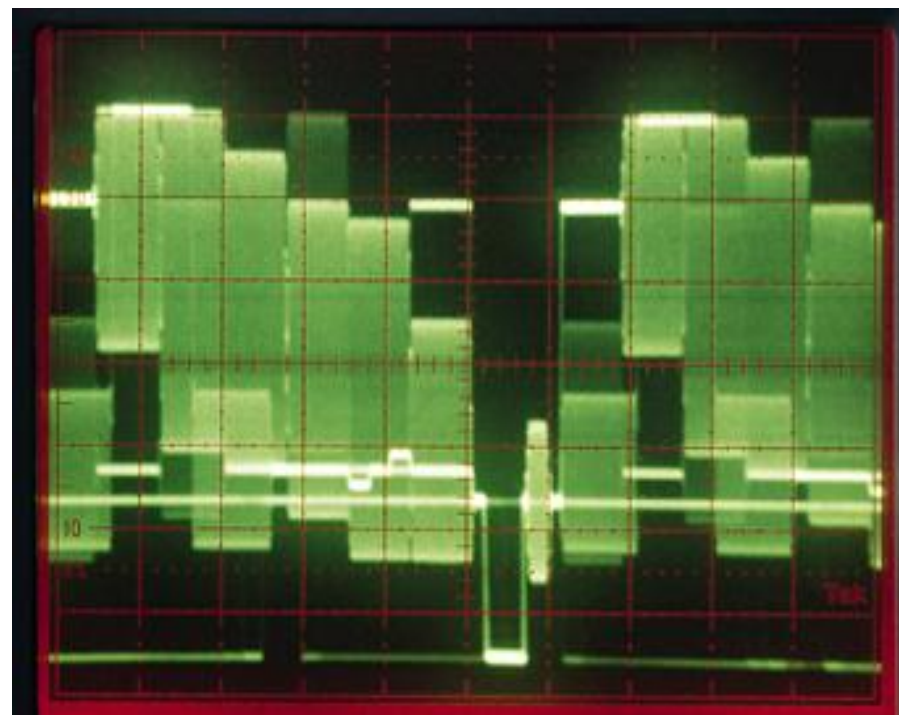
模拟示波器的好处

- ▶ 对实际的信号变化有直接的视觉效果
- ▶ 亮度等级 (信息出现的频率)
- ▶ 没有量化误差和信号混叠
- ▶ 非常快的波形获取率
- ▶ 单一的用户界面



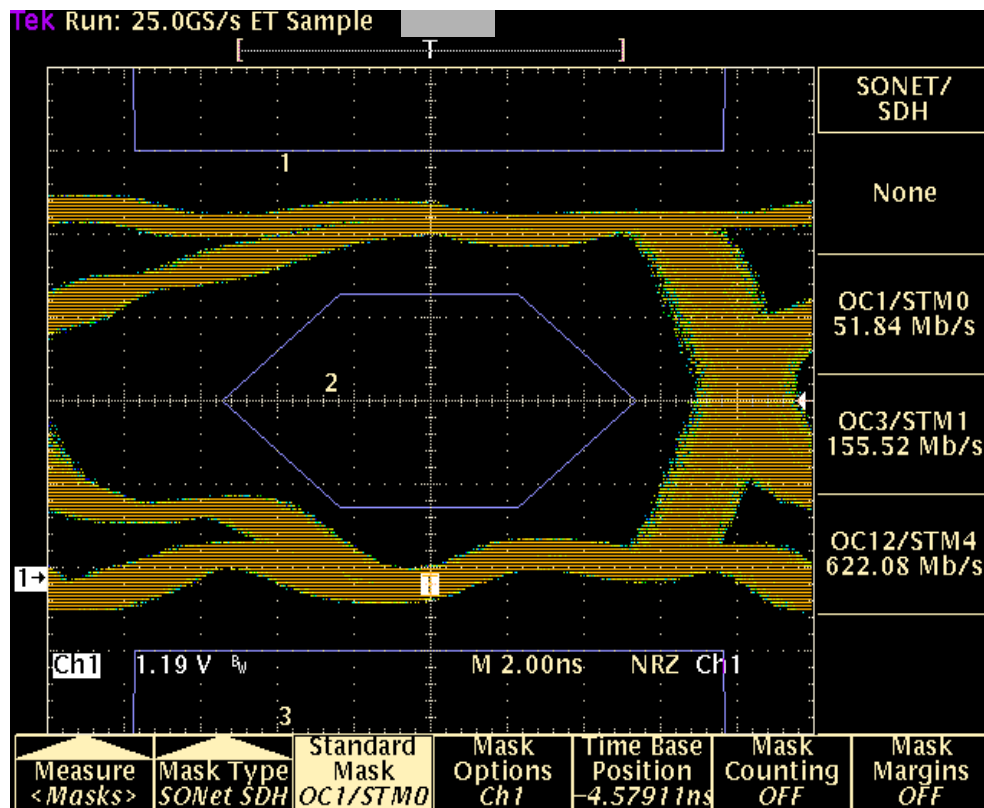
模拟示波器的缺陷

- ▶ 纯粹的视觉信息
- ▶ 闪烁和遗失
- ▶ 有限的带宽性能
- ▶ 边缘触发
- ▶ 无法观测触发事件之前的信息
- ▶ 在单通道模式下性能最好
- ▶ 对于低重复率信号写速有限



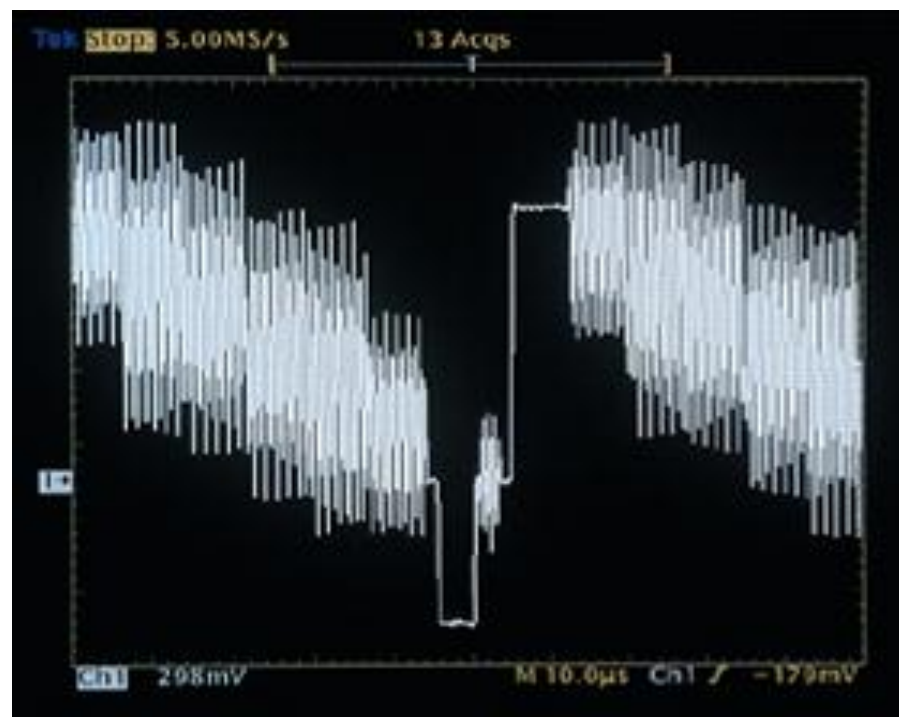
数字存储示波器的好处

- ▶ 存储波形
- ▶ 捕获罕见的异常事件
- ▶ 先进的触发功能
- ▶ 显示触发事件之前的信息
- ▶ 去除噪声
- ▶ 具有更精确的时基
- ▶ 彩色显示
- ▶ 信号处理 (averaging, FFT)
- ▶ 传输/拷贝存储的波形



数字存储示波器的缺点

- ▶ 有限的波形捕获速率
- ▶ 由于数据信息不足产生混叠
- ▶ 没有亮度等级 (信息出现的分布)

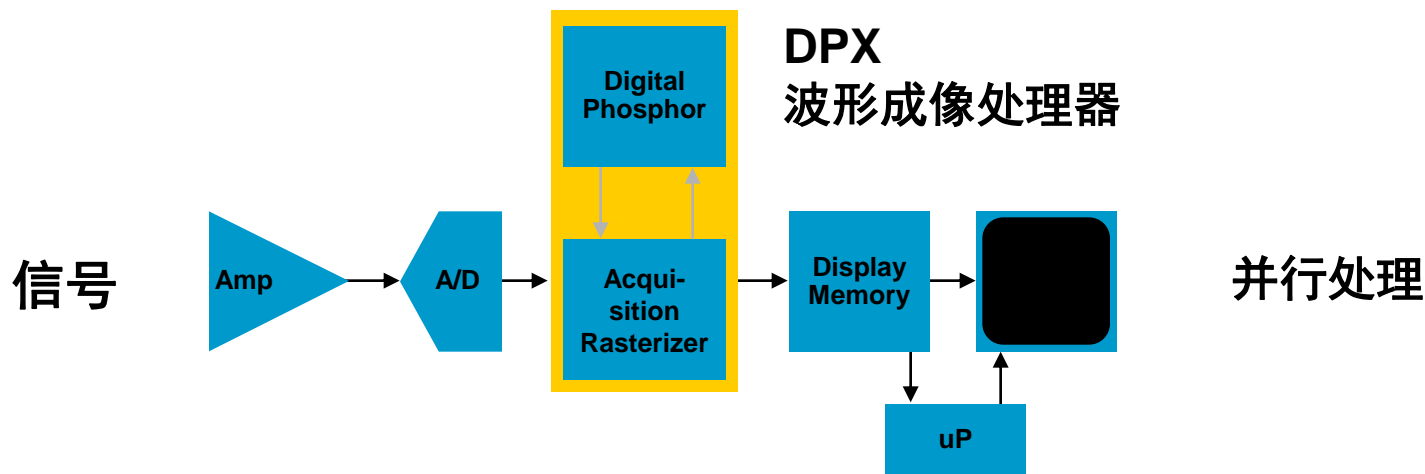


突破性的解决方案

数字荧光示波器

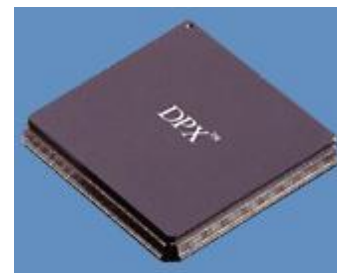
► 数字荧光示波器

定义:一台能将电信号数字化,并且以三维数据(信号的幅度,时间,以及幅度相对于时间的分布)实时地存储,分析,显示波形的仪器



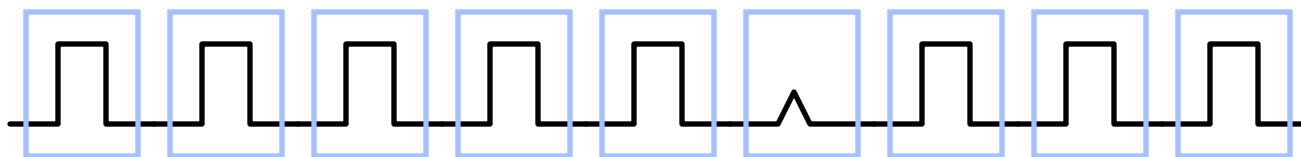
Tektronix 的数字荧光示波器 技术的基础—— DPX™

- ▶ DPX 是泰克公司的专有的波形成像处理器, 用于创建和管理信息的亮度等级
- ▶ 每个通道有自己的 DPX 波形成像处理器
- ▶ DPX 在一块 13 mm^2 芯片上集成了130万个晶体管, 采用 $0.65\mu\text{m}$ CMOS 工艺制作的

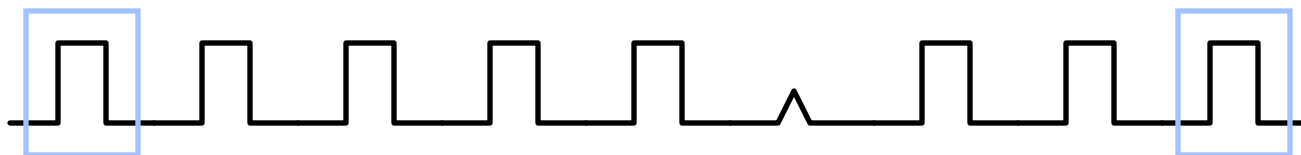


数字荧光显示技术

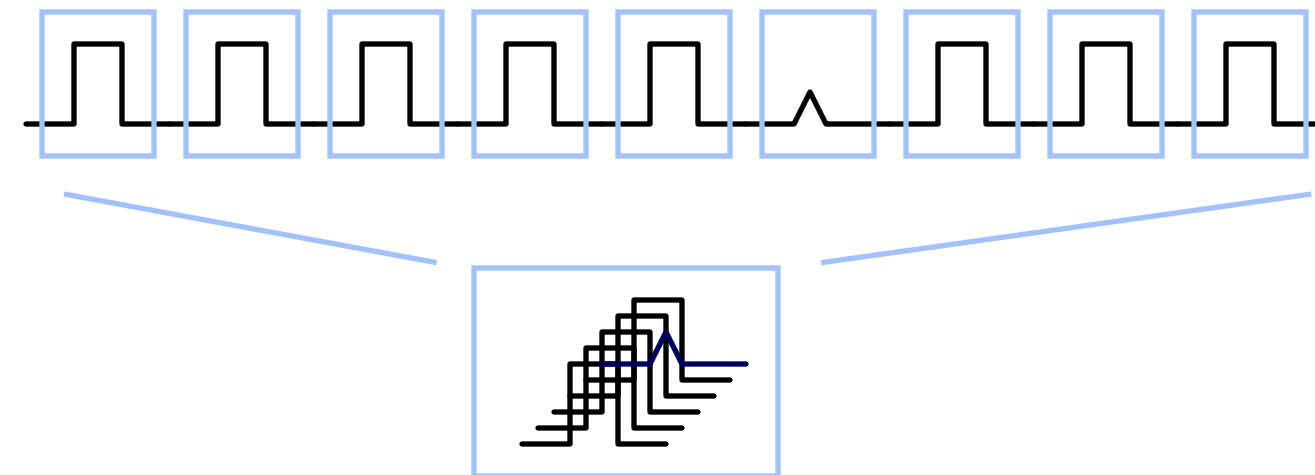
模拟实时



数字存储



数字荧光

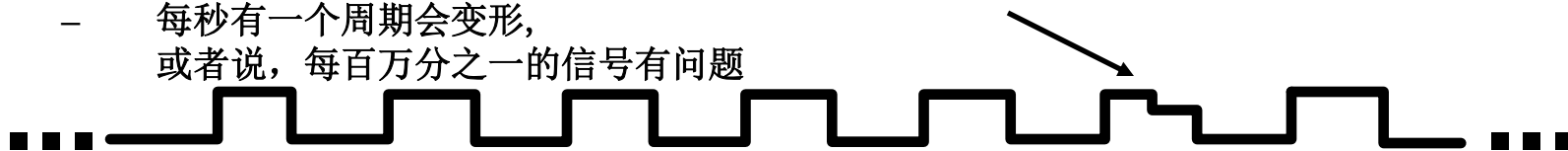


DPO的效率——快速发现问题

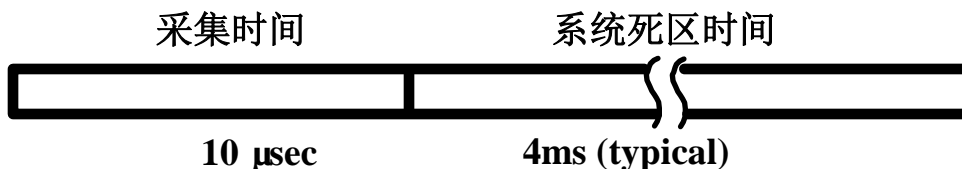
难以发现的症结:

例如: 假设

- 1 MHz 方波信号
- 1 $\mu\text{sec/division}$ 时基设置
- 每秒有一个周期会变形, 或者说, 每百万分之一的信号有问题



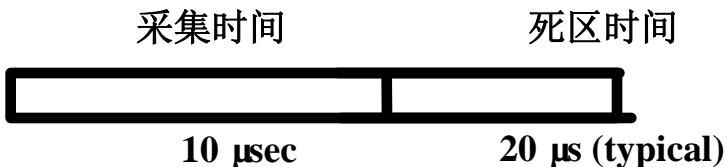
典型的DSO
工作周期



90%的概率下,
大概需要**15分**
钟才能看到一次
故障

一秒中内捕获到故障的概率 = 0.25%

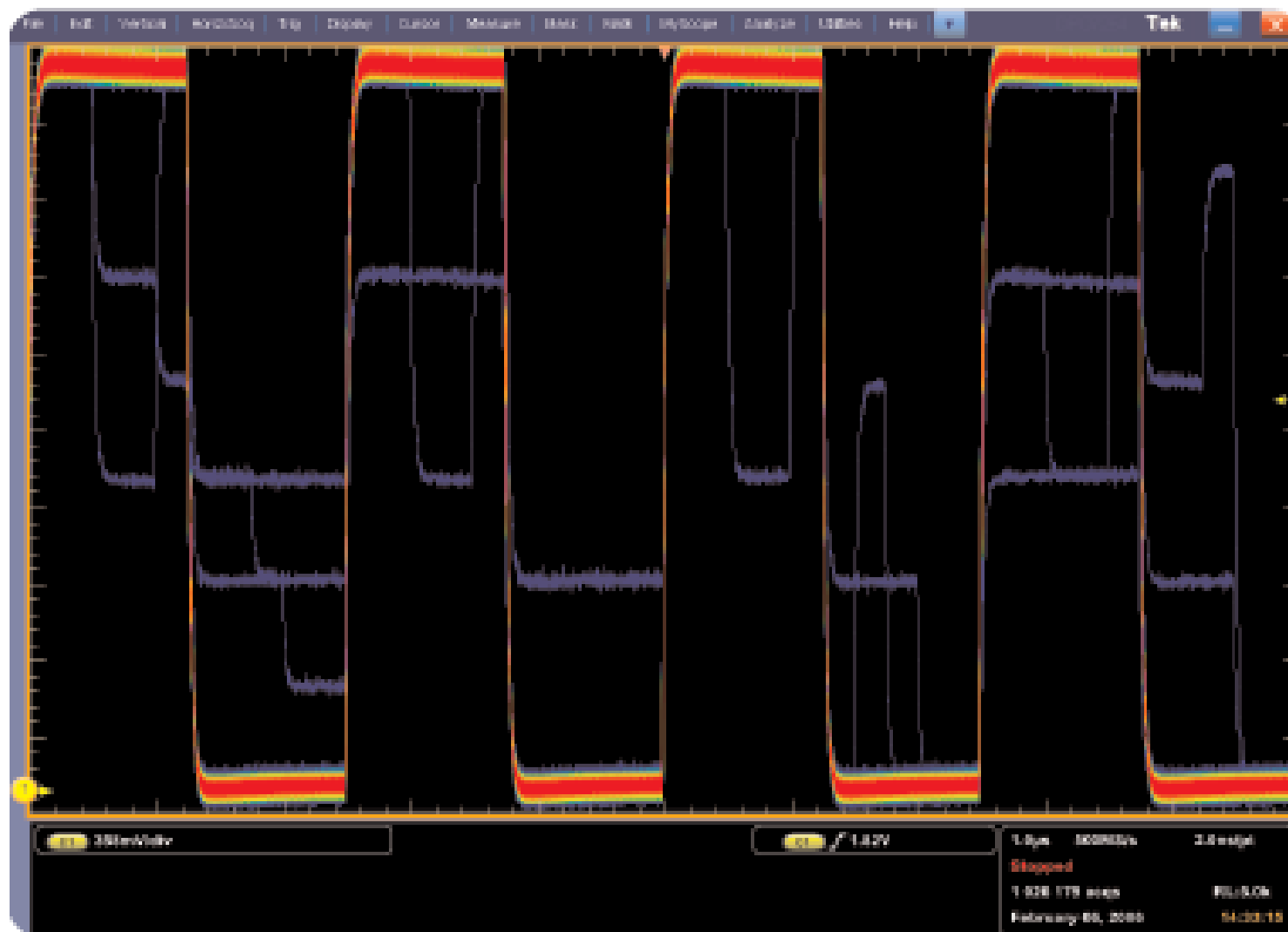
DPO 工作周期



90%的概率下,
大概只需要**6秒**
就才能看到一次
故障

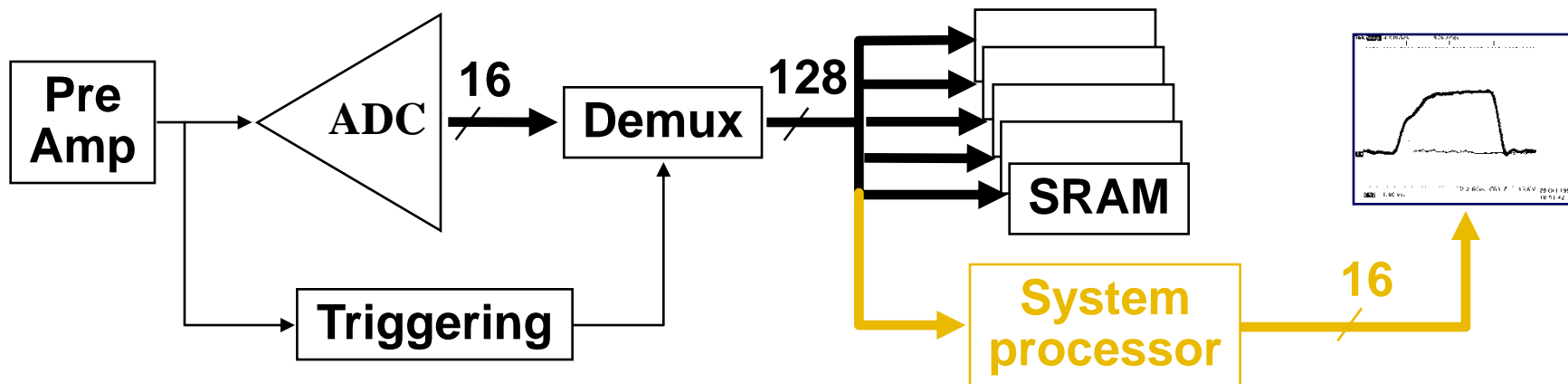
一秒中内捕获到故障的概率 = 33%

DPO的波形捕获率——眼见为实



示波器的触发功能

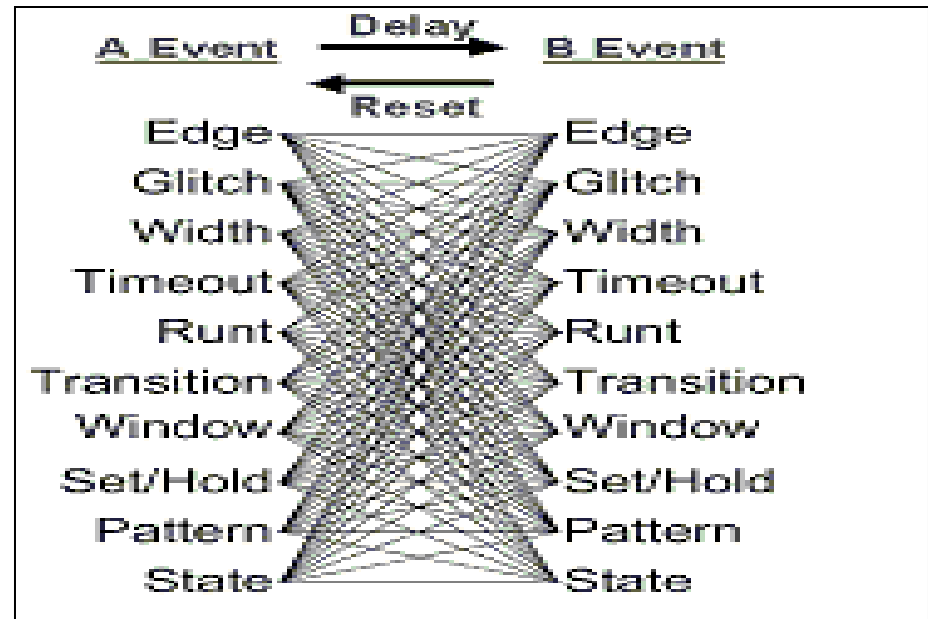
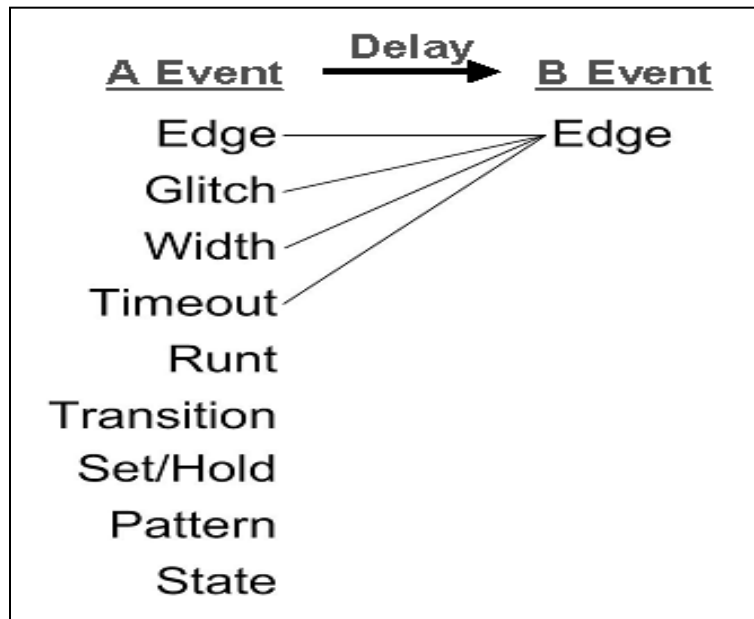
波形获取过程



- ▶ 仪器只有当触发事件发生时才进行存储
- ▶ 仪器连续采集，直到后触发条件满足
- ▶ 采集停止

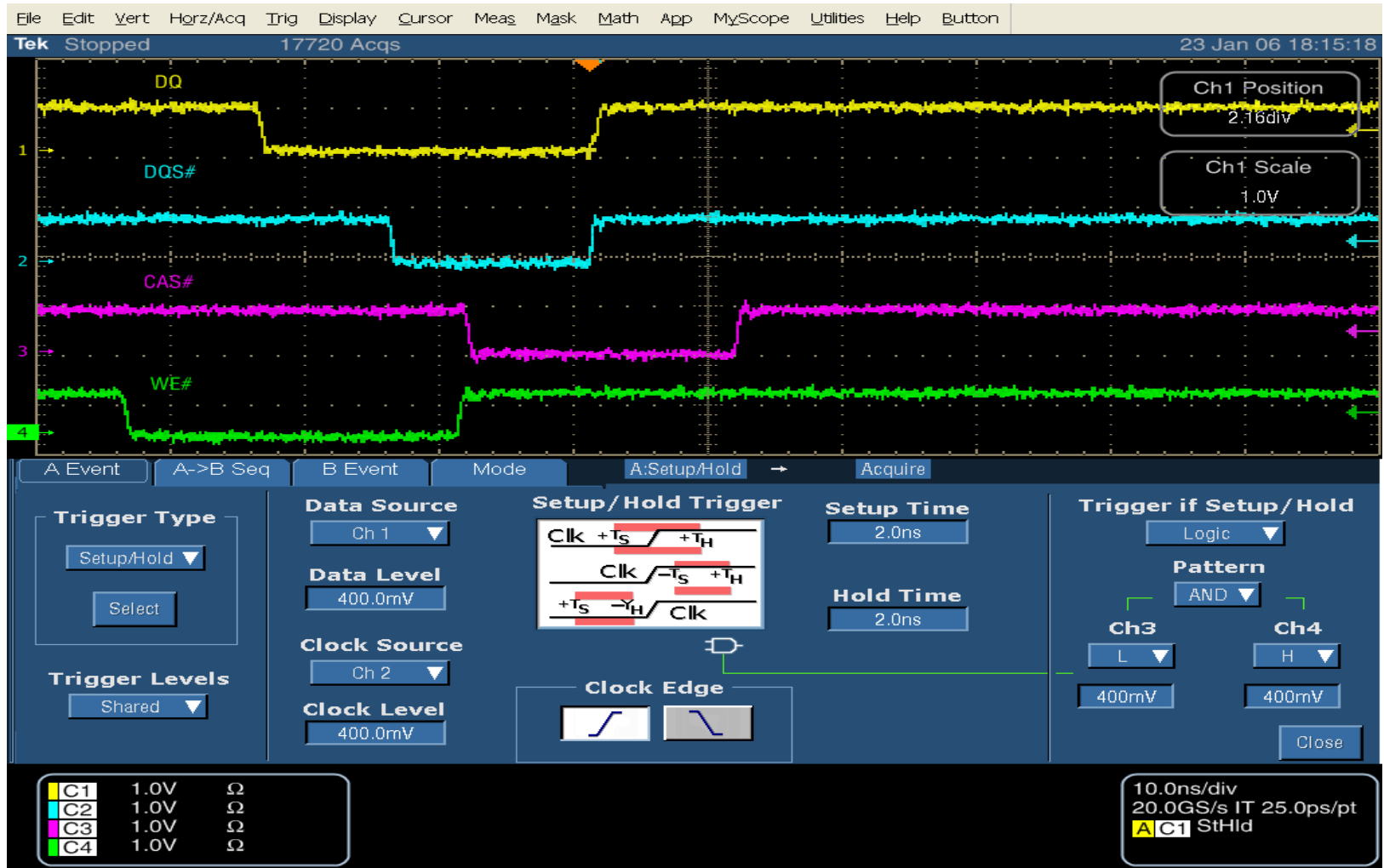
Pinpoint™ Triggering

New Sequential Logic Triggering

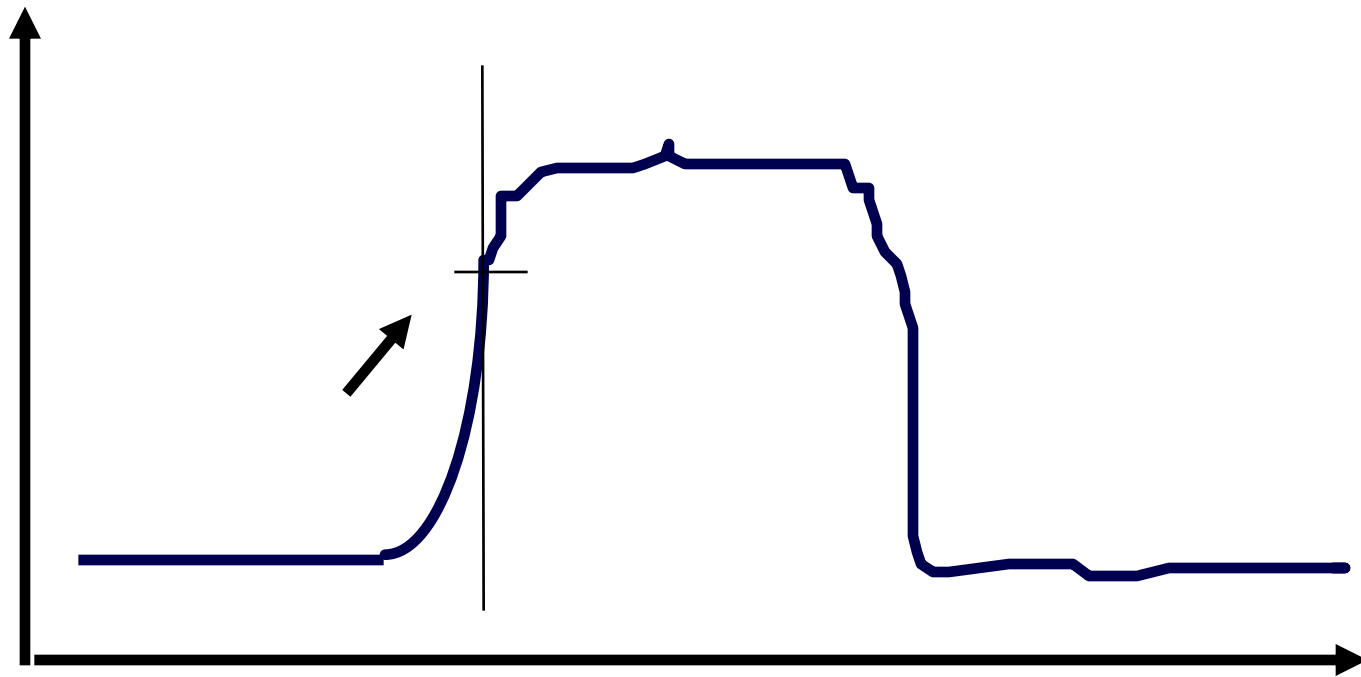


- ▶ New Pinpoint Triggering
 - 1445 Trigger Combinations
 - Plus Comm & Serial 3.125G

A-B trigger



传统的边缘触发

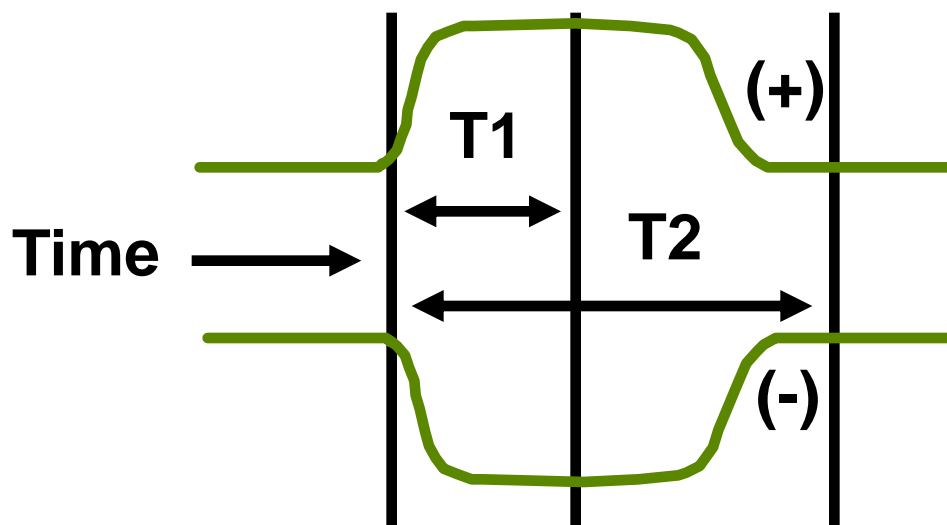


高级触发能力的考虑

- ▶ 脉冲 (宽度, 毛刺, Runt, 斜率, 建立/保持时间)
- ▶ 逻辑 (And, Or, Nand, Nor)
 - ▶ 定时关系 (四通道)
 - ▶ 状态分析 (3通道 + 1时钟)

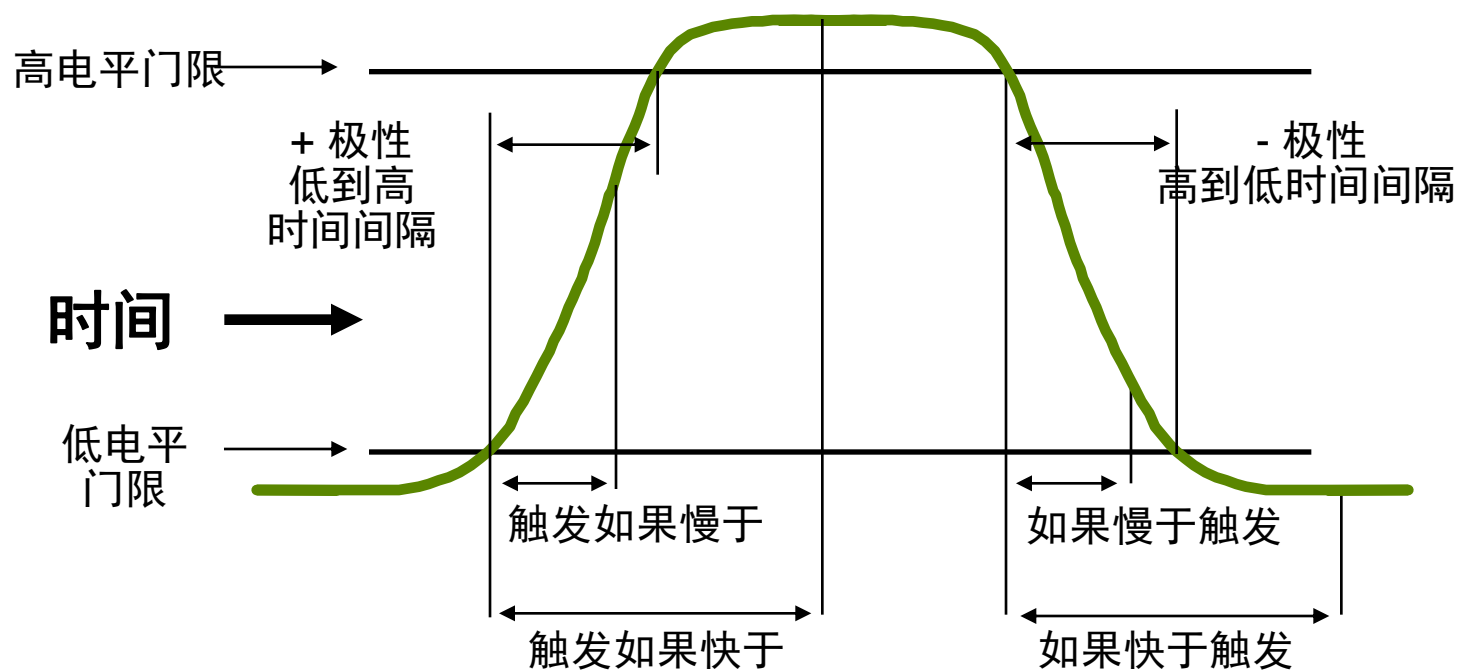
脉宽触发

仅接受（或不接受）由预先定义的脉宽介于两个时间限制之间的，选择正负极性的脉冲触发。



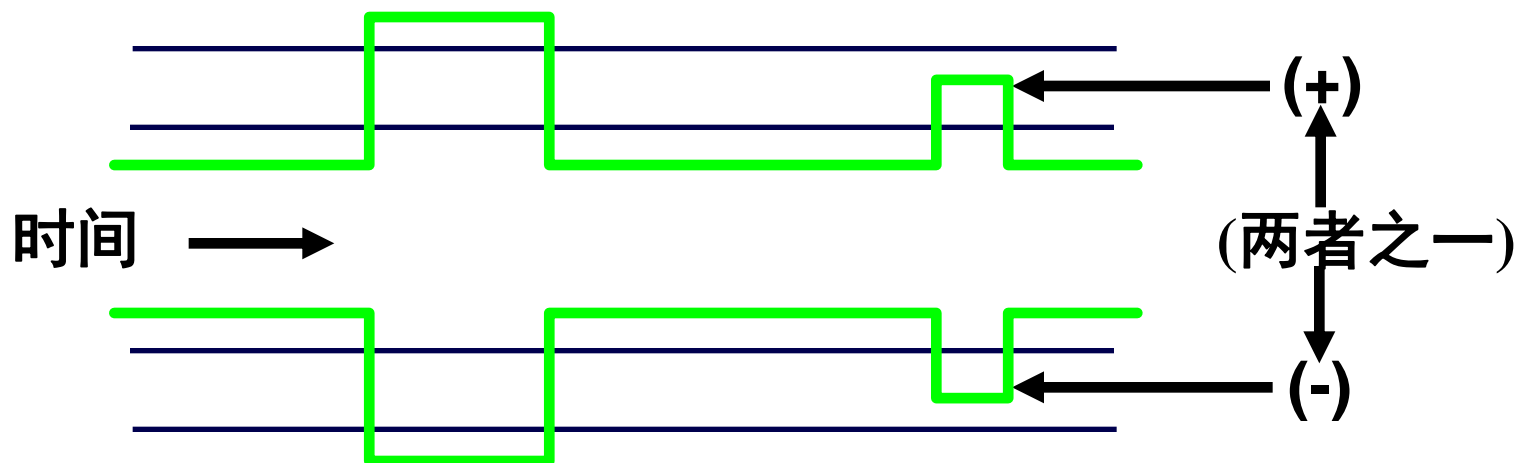
斜率触发

在信号从高到低和/或从低到高的门限时间慢于（大于）或快于（小于）规定的时间及正负极性时触发



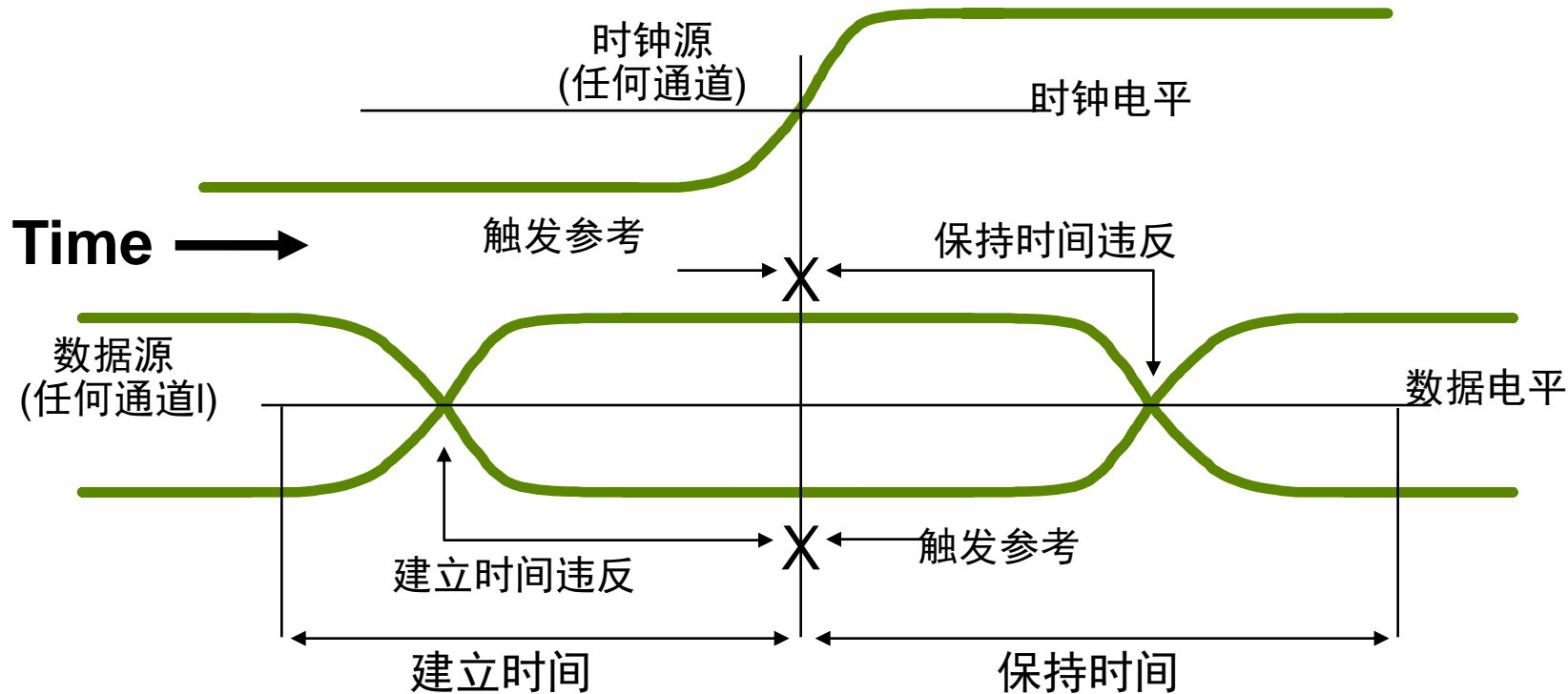
欠幅触发

接受(或拒绝)由门限电平所定义的脉冲，脉冲极性可正可负



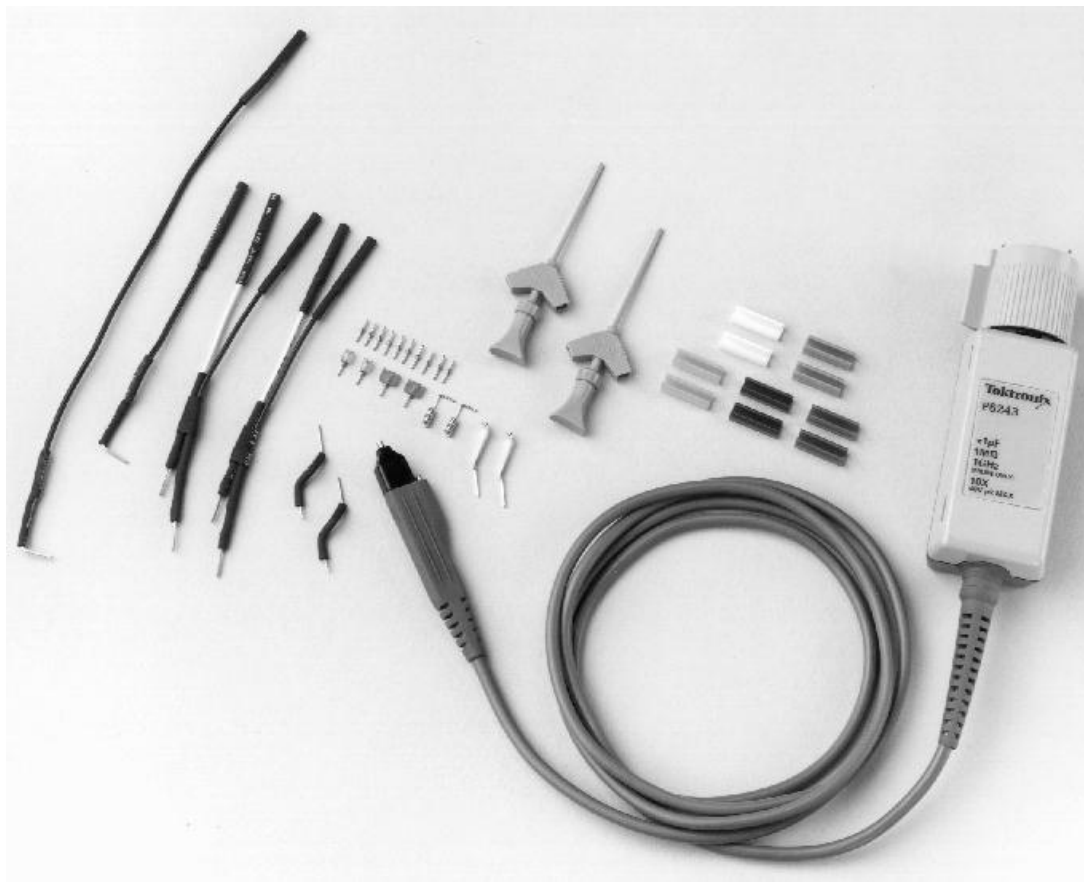
建立/保持触发

如果 + 或 - 数据沿（瞬态）在预先定义的正极性时钟沿（或 负极性）建立保持时间窗口内时，触发



探头的要求

- ▶ 负载效应低，对被测试信号的影响小
- ▶ 输入阻抗大
- ▶ 带宽高
- ▶ 动态范围大
- ▶ 频率响应曲线平坦
- ▶ 垂直放大精度高
- ▶ 垂直灵敏度大
- ▶ 丰富的探针类型



探头参数的含义

- ▶ 带宽
- ▶ 上升时间
- ▶ 电容:给DUT带来容性负载
- ▶ 输入阻抗:给DUT带来的负载
- ▶ 衰减比:1X、5X、10X……………
- ▶ 动态范围:探头放大器的线形工作范围
- ▶ 输入范围:被测试信号超出输入范围, 探头损坏
- ▶ 偏移量:探头放大器的偏移量

探头的传输延时

一般是4 ns 到 8 ns

- ▶ 不同探头的差别很大
- ▶ 同类型的探头差别很小(<200 ps)

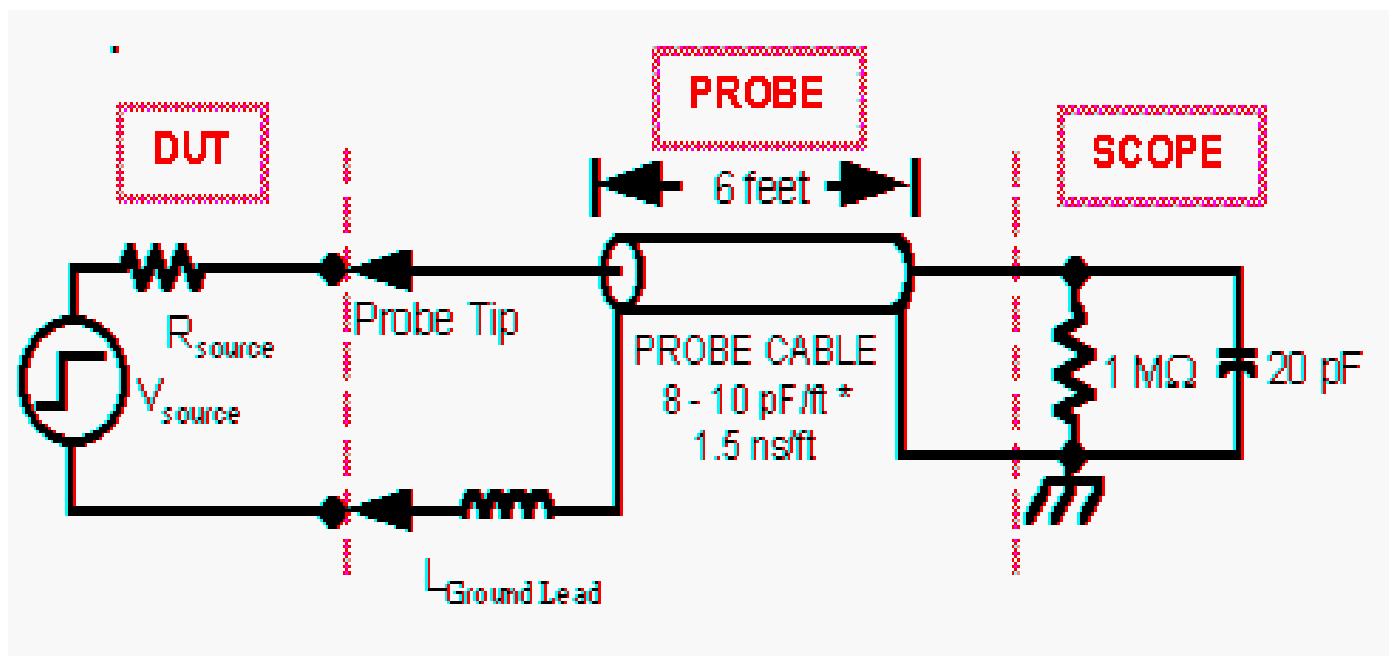
1 X 无源探头

► 优点

- 无衰减
- 价廉

► 缺点

- 很大的反射
- 很大的输入电容
- 很窄的带宽



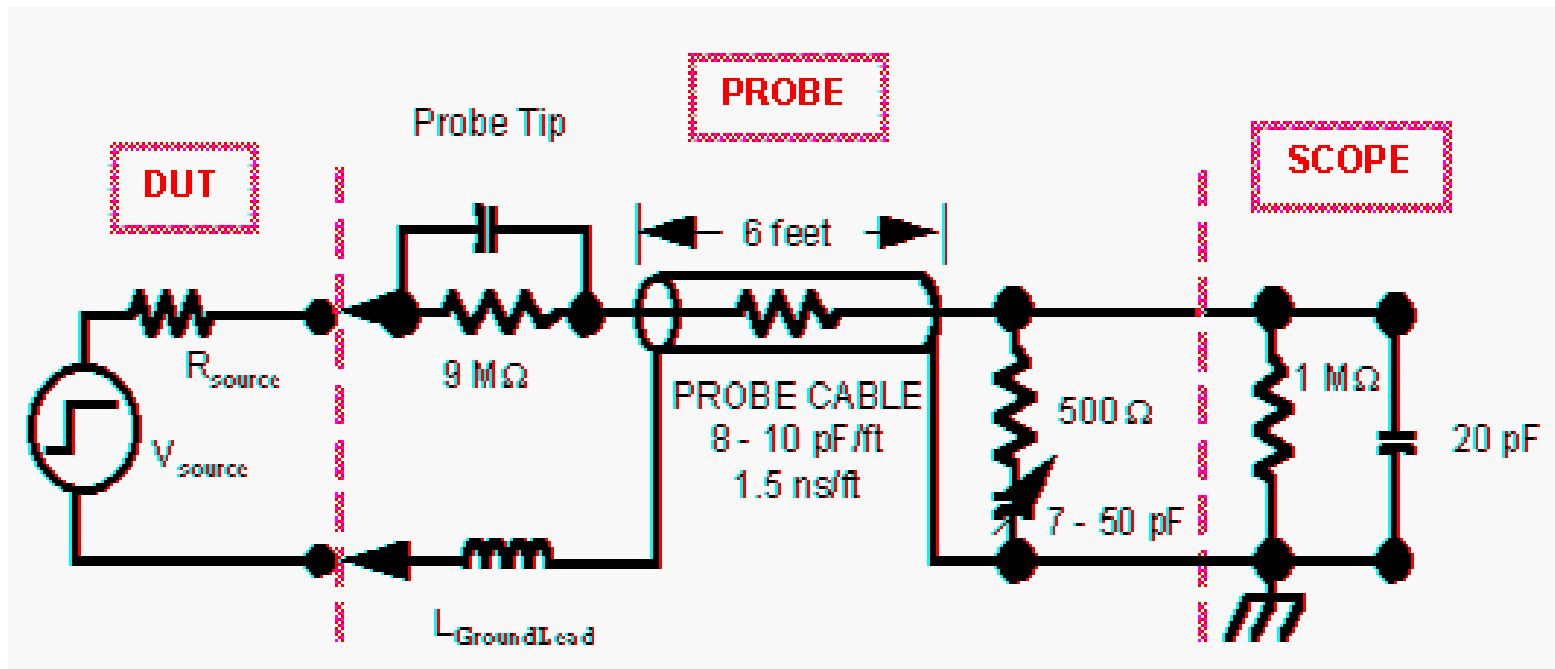
10 X 无源探头

► 优点

- 高输入阻抗
- 动态范围大
- 价格便宜

► 缺点

- 输入电容较大
- 与 50 ohm 系统不兼容
- 必须补偿



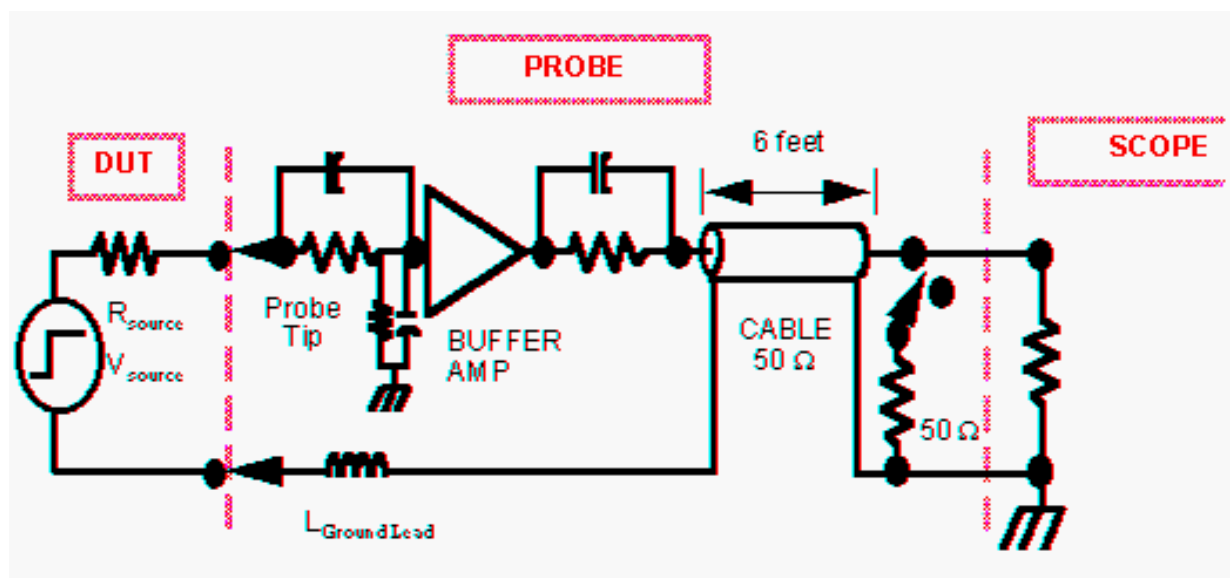
有源探头

► 优点

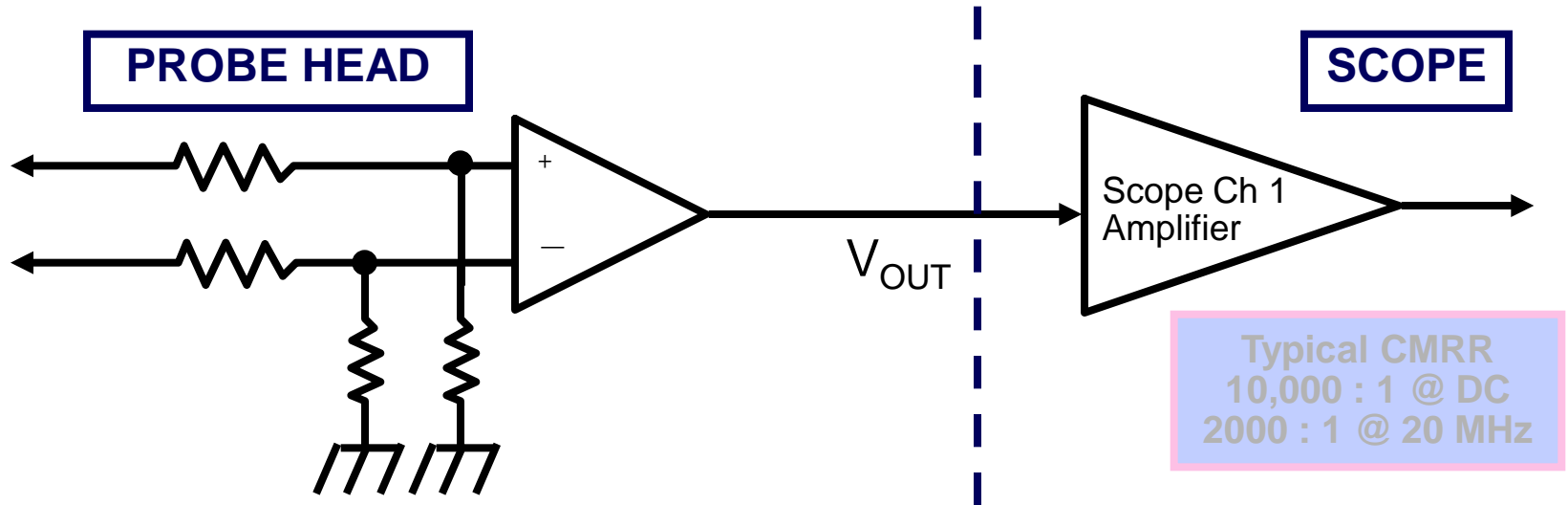
- 低输入电容
- 高的带宽
- 高输入电阻
- 兼容50 ohm 系统
- 不需补偿

► 缺点

- 价格高
- 动态范围有限
- 要求电源
- 结构复杂



有源差分探头



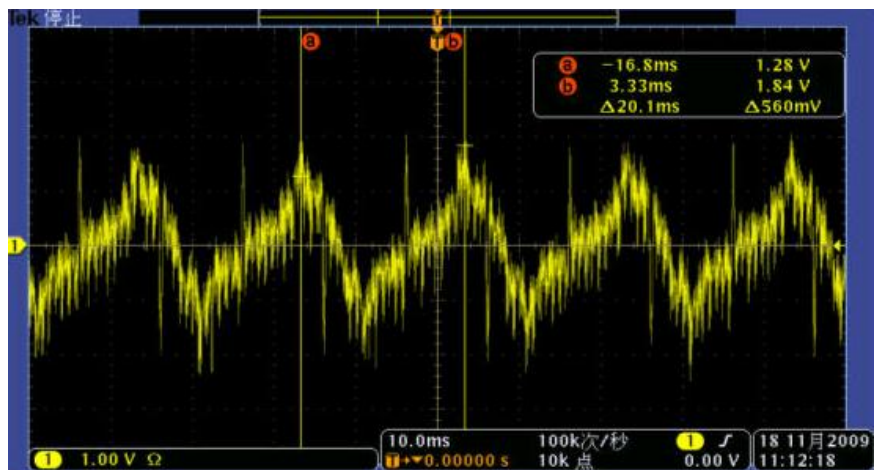
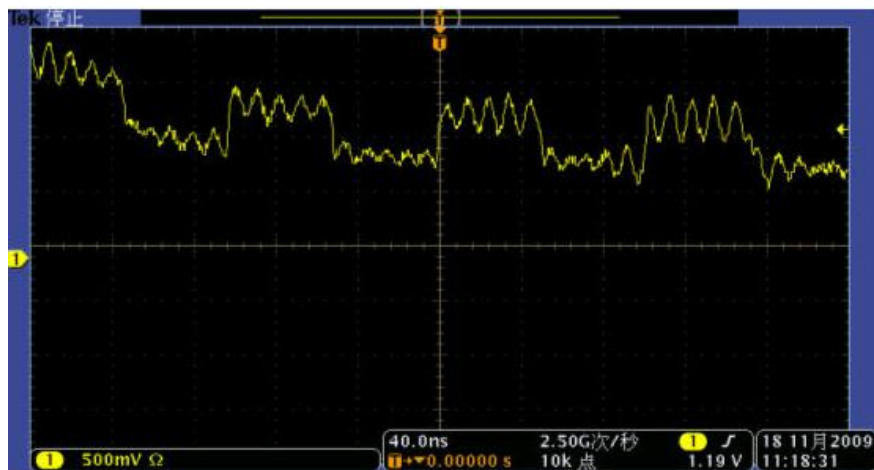
Advantages:

- Lower Input Capacitance
- Higher CMRR vs Frequency Than Passive Differential Pair
- Compatible With 50 Ω and 1 M Ω Single-ended Systems

Disadvantages:

- Higher Cost
- Limited Dynamic Range
- Requires Power

不良接地时的电源干扰

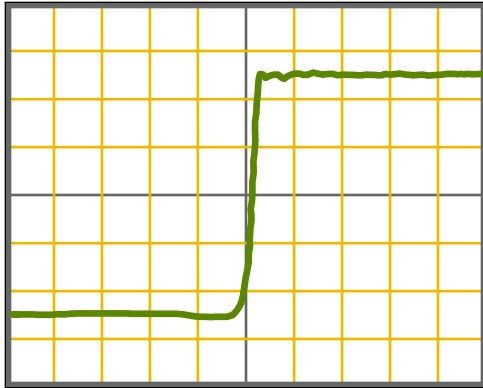


不良接地时的电源干扰

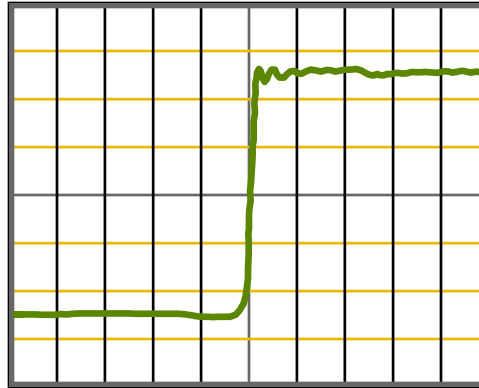
使用探头测试时，一定要注意信号回流路径，如果发现波形上下跳动，就需要考虑接是否是接地线异常；

- 1.信号回流路径尽可能短；或者如果考虑地线和信号线形成的一个闭合面，这个面的面积需要尽可能小；
- 2.测试准备工作中，单端探头测试时可以使用接地线(带鳄鱼夹或香蕉头的导线)将被测信号的参考点与示波器的外壳(也就是示波器的“地”)连接起来；
- 3.差分探头测试时应该将示波器和被测设备共地。如果示波器和被测设备使用同一个接地良好的电源插线板，则这一步一般可以省去。
- 3.地线未能可靠连接或差分探头一端悬空的情况在高压、浮地测试中十分危险，应严格避免。即使在普通差分信号的测试中，如果差分探头一端悬空，当被测信号的差模电压+共模电压超过了差分探头的差模测试范围，也可能损坏探头；

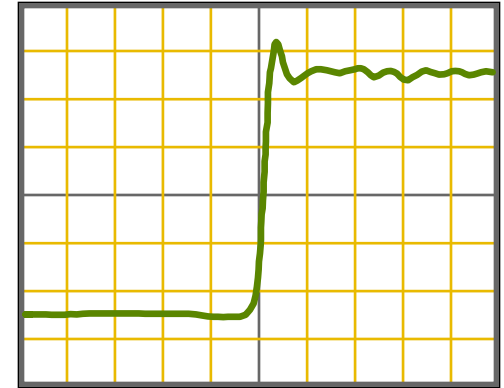
探头地线影响比较 (Tr=1ns)



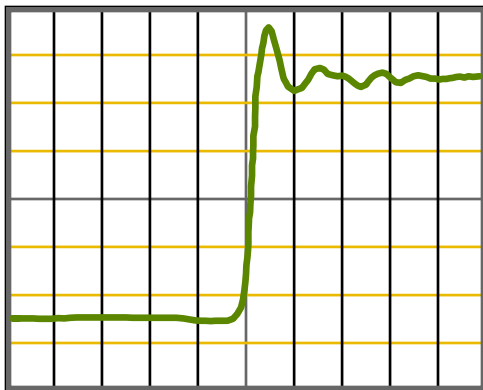
Coaxial Cable



BNC Probe Tip Adapter



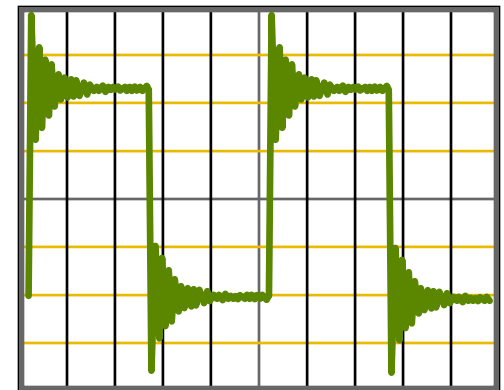
1" Ground Adapter



3" Low Z Ground Lead

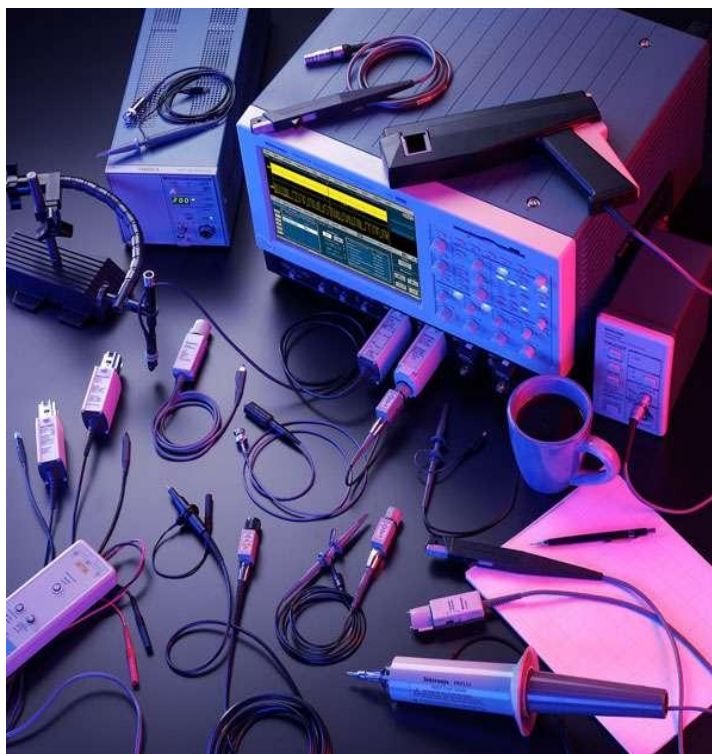


6" Ground Lead



No Ground Lead

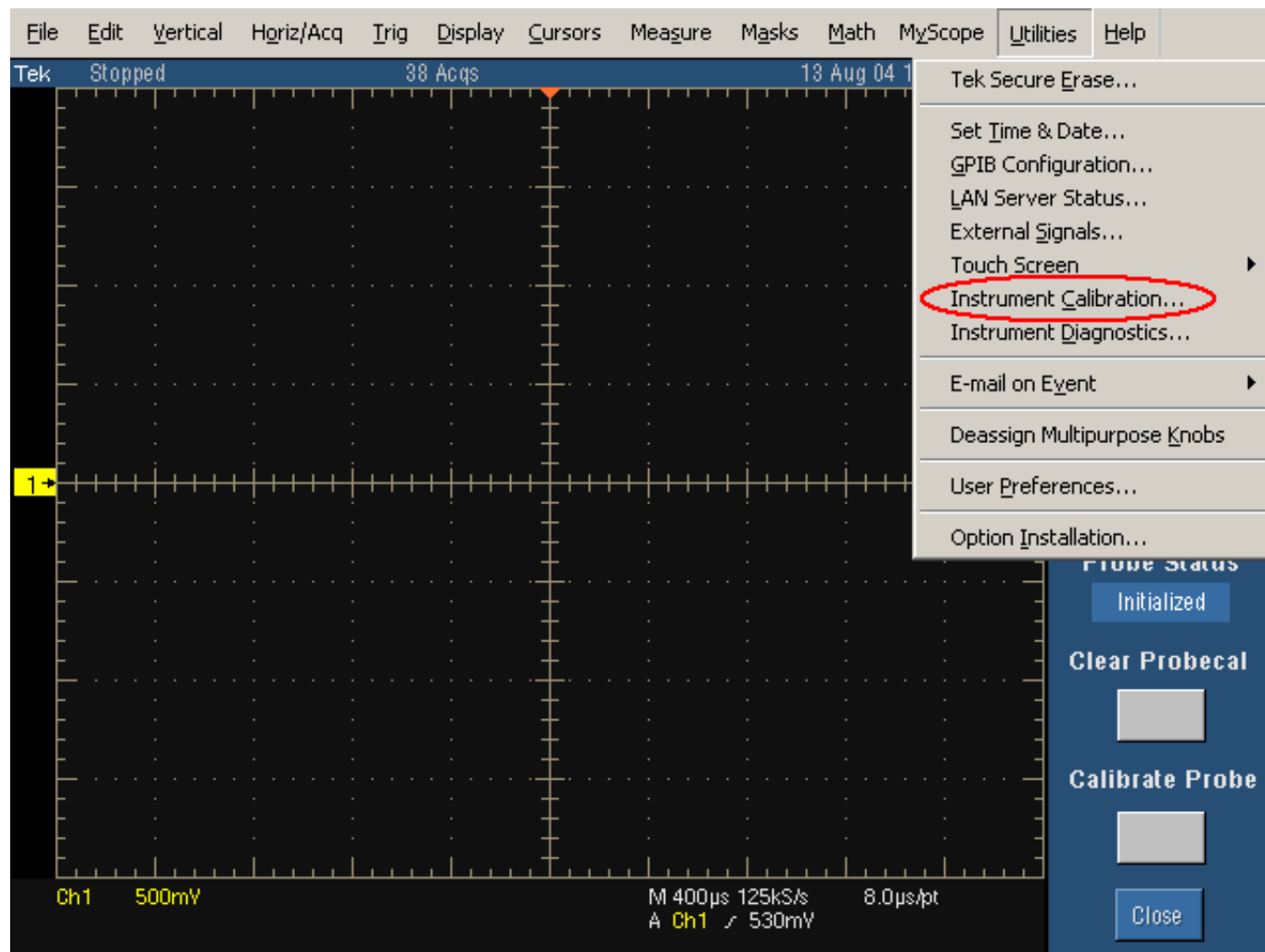
应用篇



示波器与探头的校准

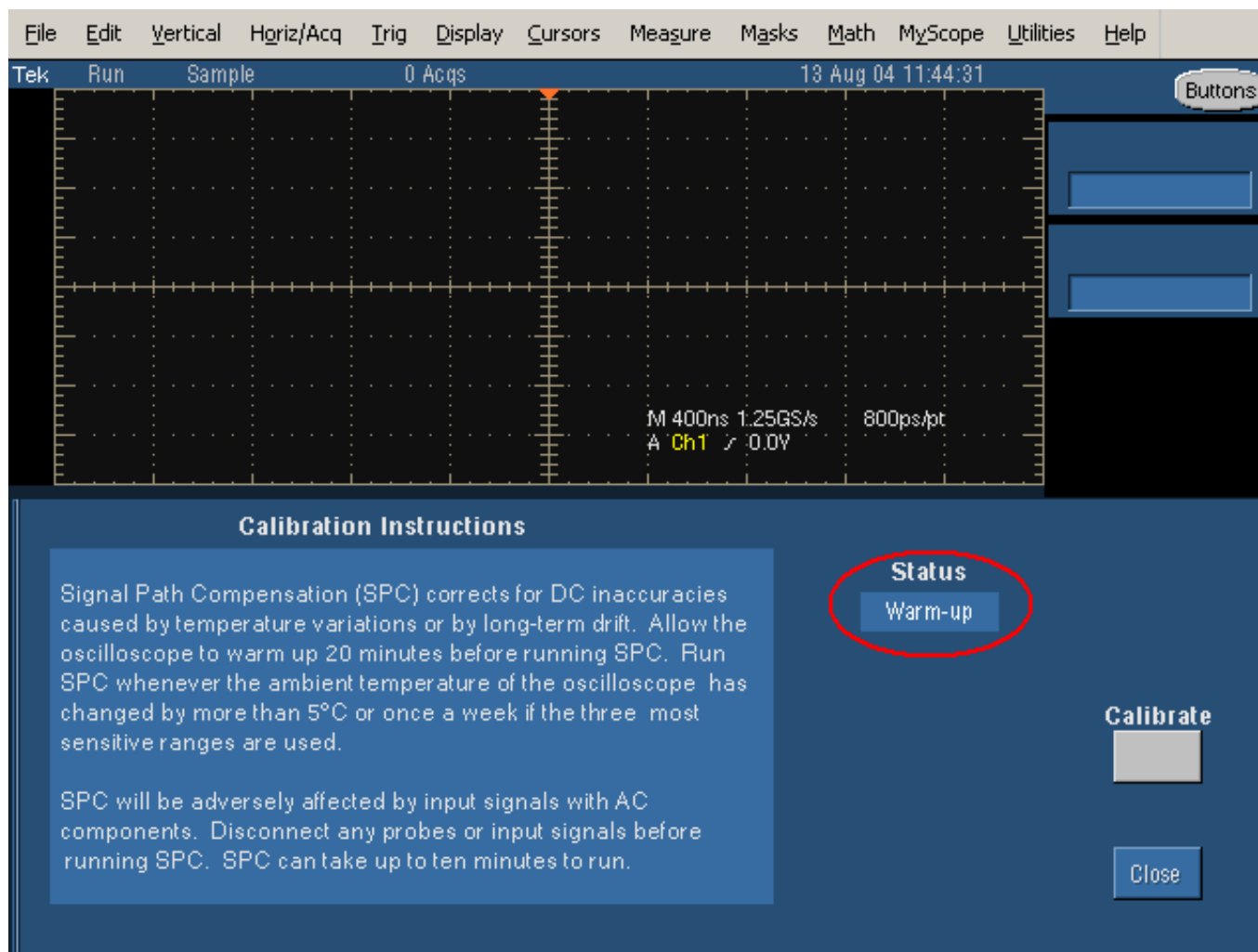
示波器SPC校准

- ▶ 示波器开机后选择Utilities菜单中的Instrument Calibration...



示波器SPC校准

► 查看示波器状态



示波器SPC校准:SPC状态的含义

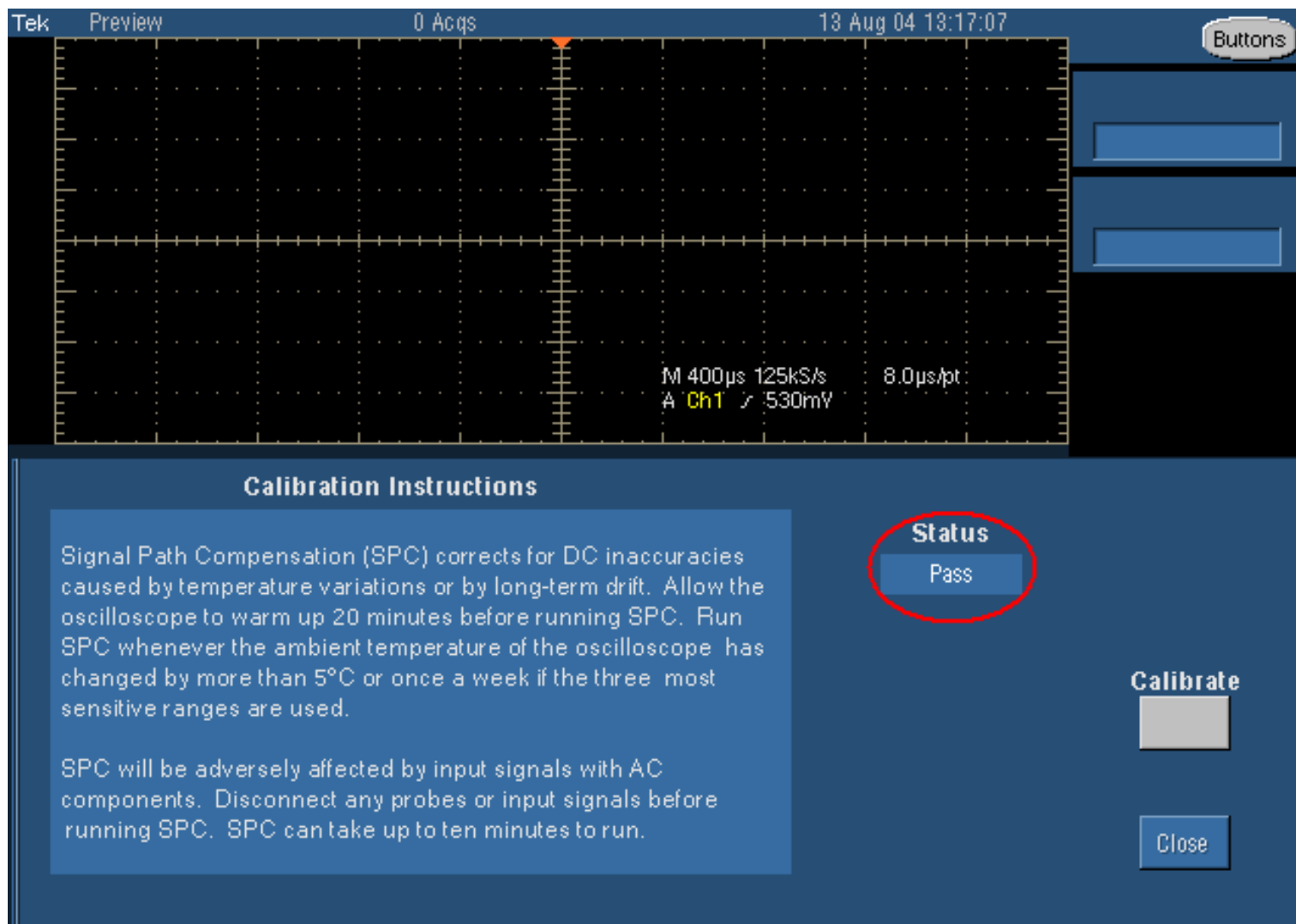
- ▶ **Warm-up:**示波器预热中，该过程需要约20分钟
- ▶ **Temp:**示波器预热后的温度与前一次SPC校准通过时温度相差超过5°C
- ▶ **Pass:**示波器SPC校准通过，或者示波器预热之后的温度与前一次SPC校准通过时的温度相差小于5°C
- ▶ **Fail:** 示波器SPC状态存在问题，或者SPC校准失败，出现此状态时一定要进行SPC校准。

SPC就是Signal Path Compensation的意思

示波器SPC校准步骤

- ▶ 第一步：卸下示波器的所有探头以及信号连接包括DPO70000系列以及DPO70000系列产品的O/E转换器与CH1之间的连接器
- ▶ 第二步：点击“Calibrate”按钮
- ▶ 第三步：等待，SPC校准通过之后会显示“Pass”

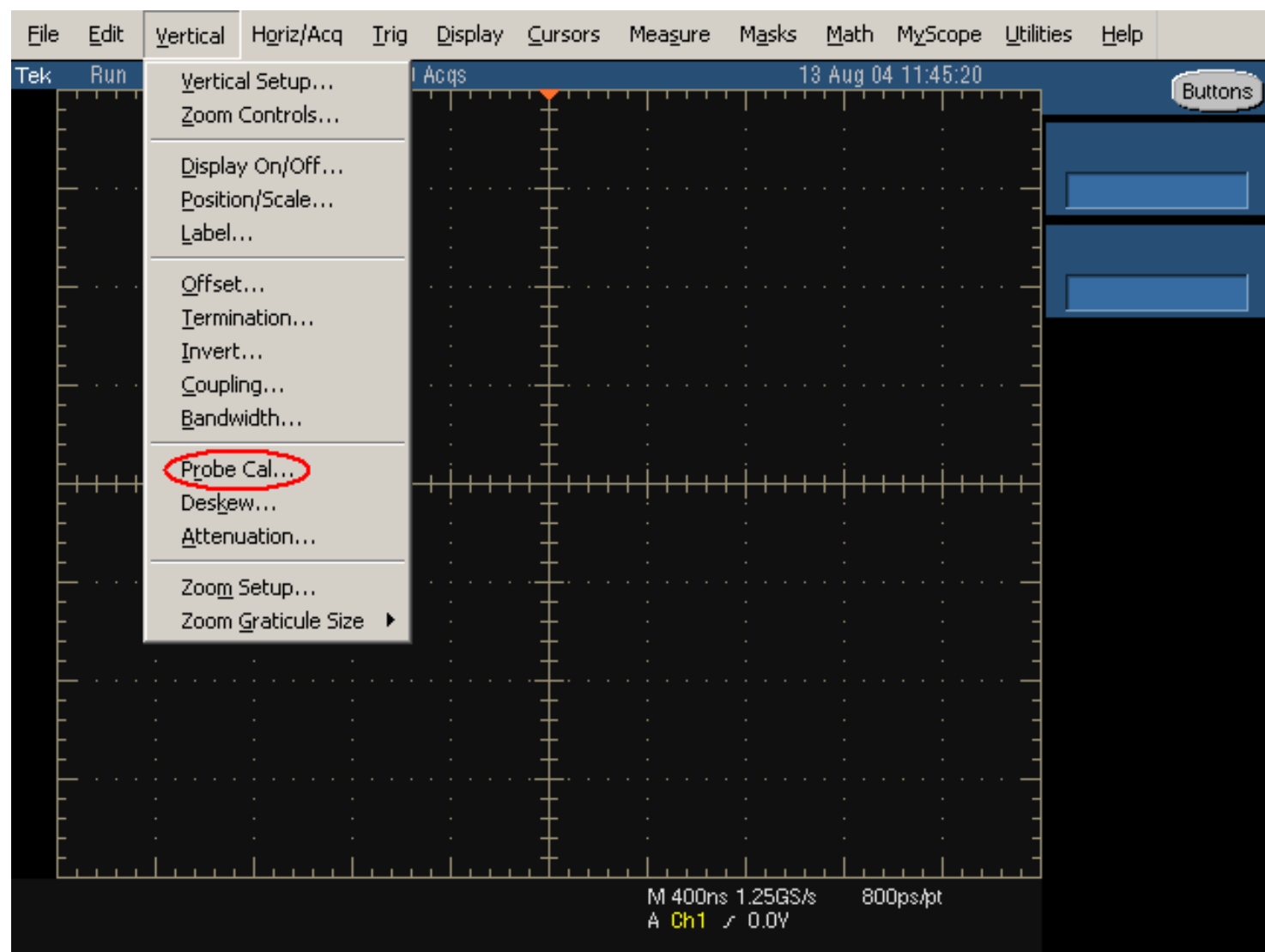
示波器SPC校准通过了！



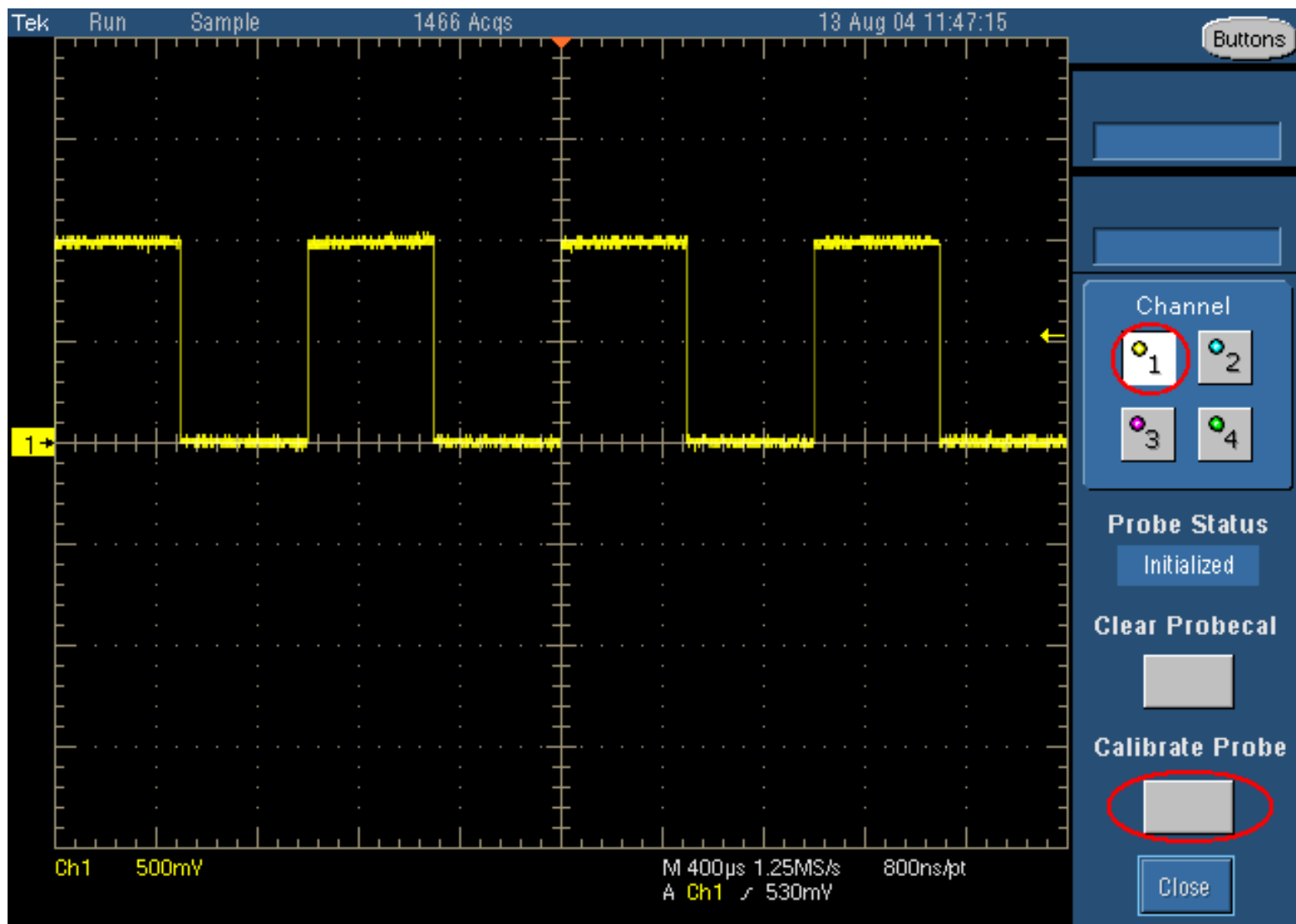
示波器探头的校准

- ▶ 第一步：将探头与示波器的校准输出正确的连接
- ▶ 第二步：按下示波器面板上的“**AUTOSET**”键，令波形在屏幕上正常显示
- ▶ 第三步：按下示波器中**Vertical**菜单下的“**Probe Cal...**”选项
- ▶ 第四步：选择对应的您要校准的探头所在通道，按下“**Calibrate Probe**”按钮

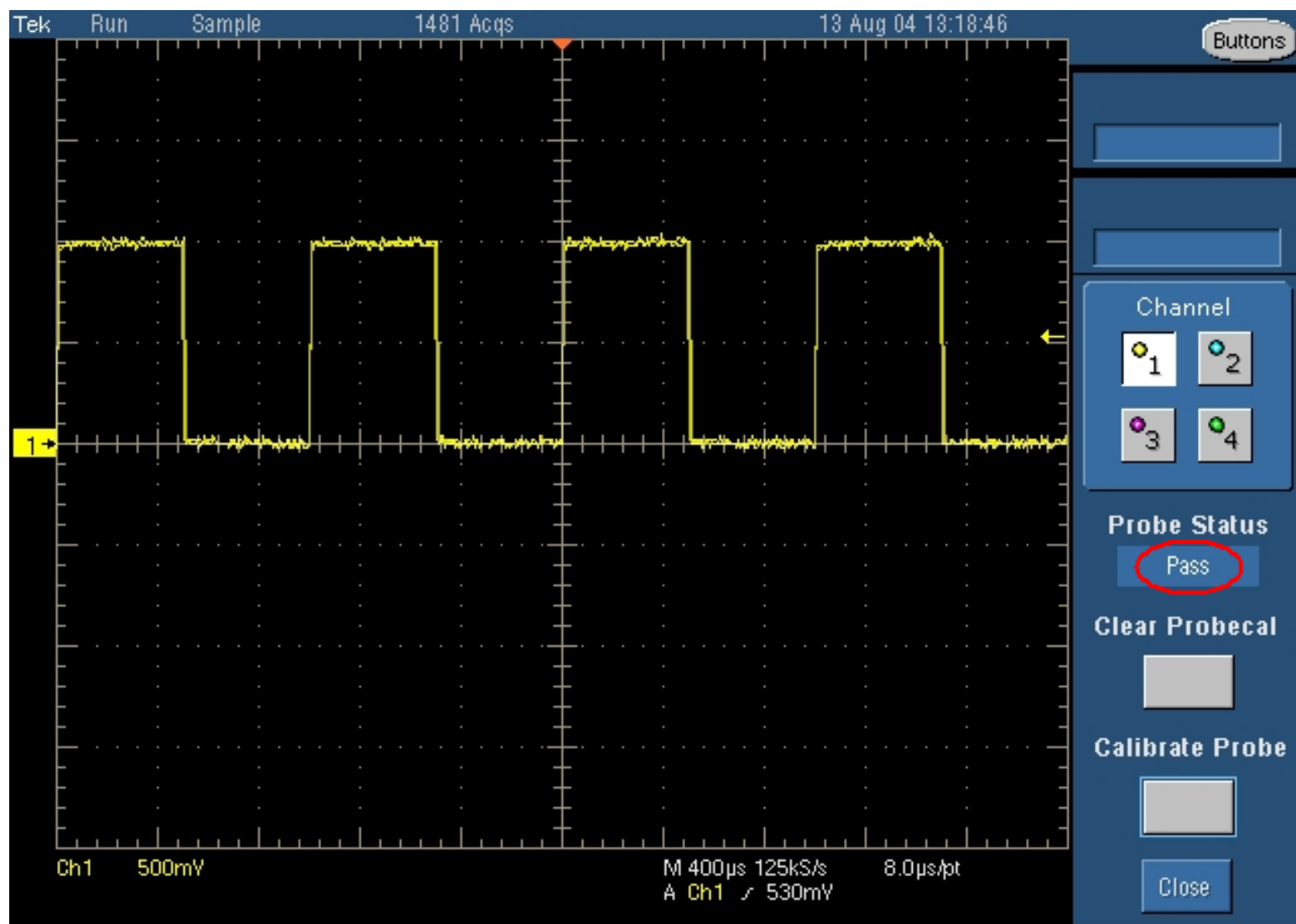
示波器探头校准



示波器探头校准:选择对应的校准通道并做校准

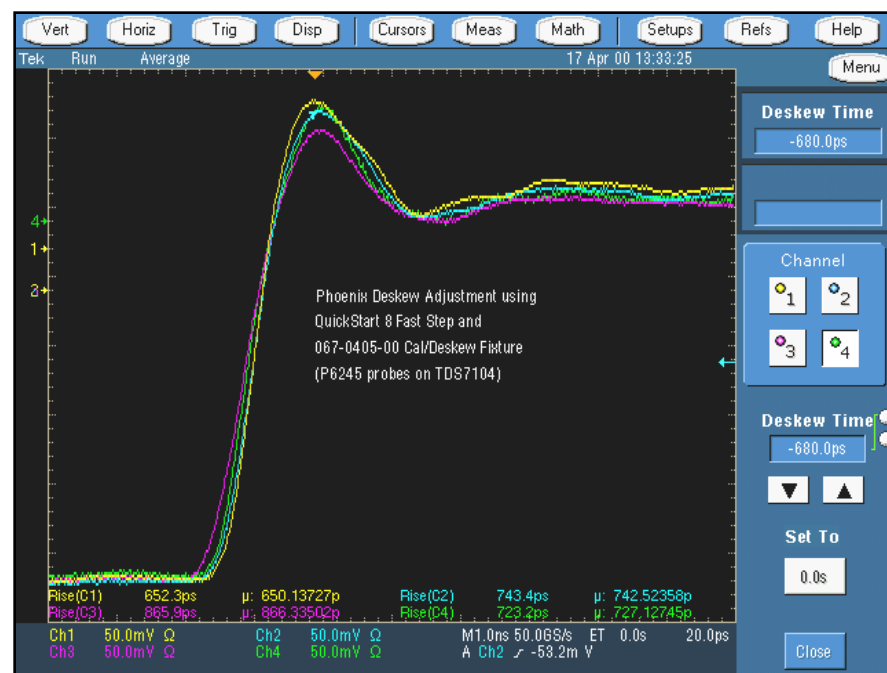
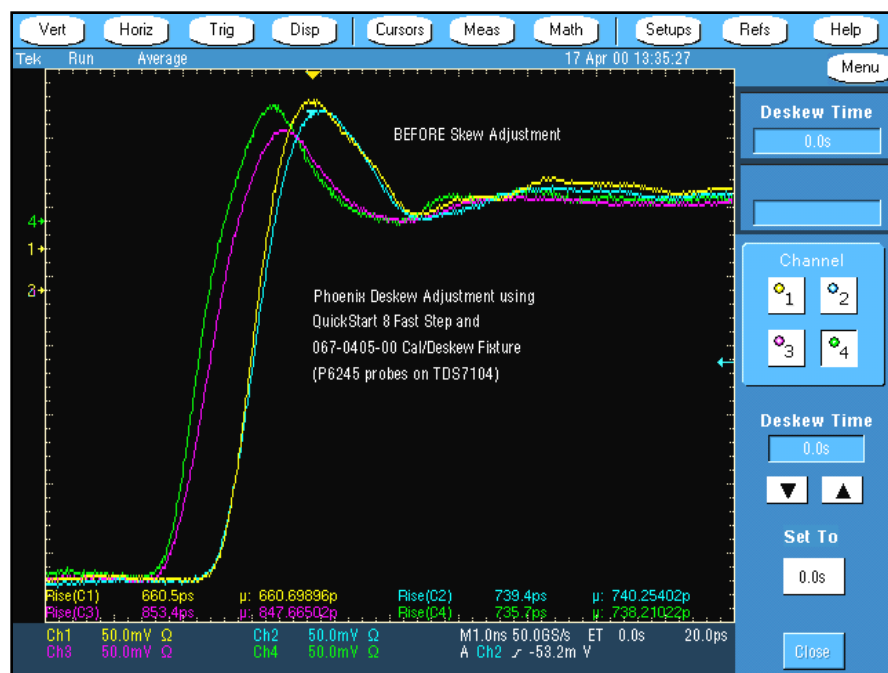
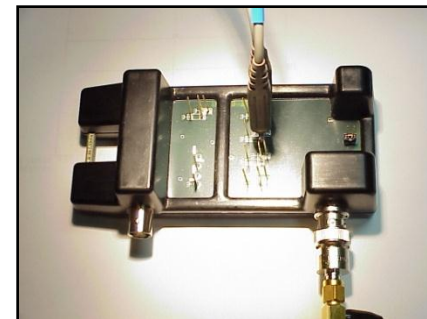


示波器探头校准获得通过！



探头De-Skew

- ▶ 当进行探头Timing 或Propagation Delay测试时，De-Skew特别重要。



爱护您的探头

损坏探头的原因

▶ 机械损坏

探头各部位的机械损伤：断裂、堵塞变形

▶ 电气损坏

电应力过度(EOS—Electrical Overstress)损伤：探头无法工作

静电放电(ESD—Electro Static Discharge)损伤：探头无法工作

机械损坏之一

- ▶ 探测时给探头施加过度的压力

例子：P7330探头的绿色标签“Read This First”明确指出，探头必须垂直接触DUT,且压力不可超过3.0lbs（1.36kg）！

- ▶ 探测完毕之后未及时从DUT上移走

例子：探针插入测试孔，完成测试后未及时移走，无意中的触碰、拉扯容易造成探针断裂事件。

- ▶ 非常规的进行探针焊接

例子：将P7260探头焊接在内存条上；某工程师将P6139探针插入测试孔并焊接。探针周围的塑料被高温熔化造成探针松动。此外，接地不良的烙铁常常会漏电击毁探头。

机械损坏之二

- ▶ 使用非正式的探针

例子：使用非正式的短探针插入**P6245**探头中，造成探针无法拔出。

- ▶ 使用探针不当

例子：用探针来刮开**PCB**板上的阻焊涂层(绿油)，造成探针根部的塑料开裂

电气损坏之一：EOS

- ▶ 探头长期探测超出量程的信号

例子：长期使用**P6243**探头测试**12V**电源上电波形。过了一段时间，探头前端剧烈发热，从此不能再进行测量

- ▶ 探头长期不带地线进行测试

例子：因找不到接地点，长期不带地线进行测试，而由于使用了劣质的电源插线板，**DUT**与示波器存在几十伏特的电位差，造成探头损坏。

- ▶ 普通有源探头测高压

例子：认为上千美元一个的探头肯定耐扛，测**220V**交流电没问题。

电气损坏之二：ESD

- ▶ 探头不带防静电措施储存

例子：在某实验室，打开抽屉，里面全是探头，但没有一个有防静电袋包装，全部曝露在环境中。

- ▶ 探头在无防静电措施下携带并运输

- ▶ 用手指触碰探头前端