

# 高速信号完整性测试及典型应用分析



泰克科技（中国）有限公司

苏水金

2010.6

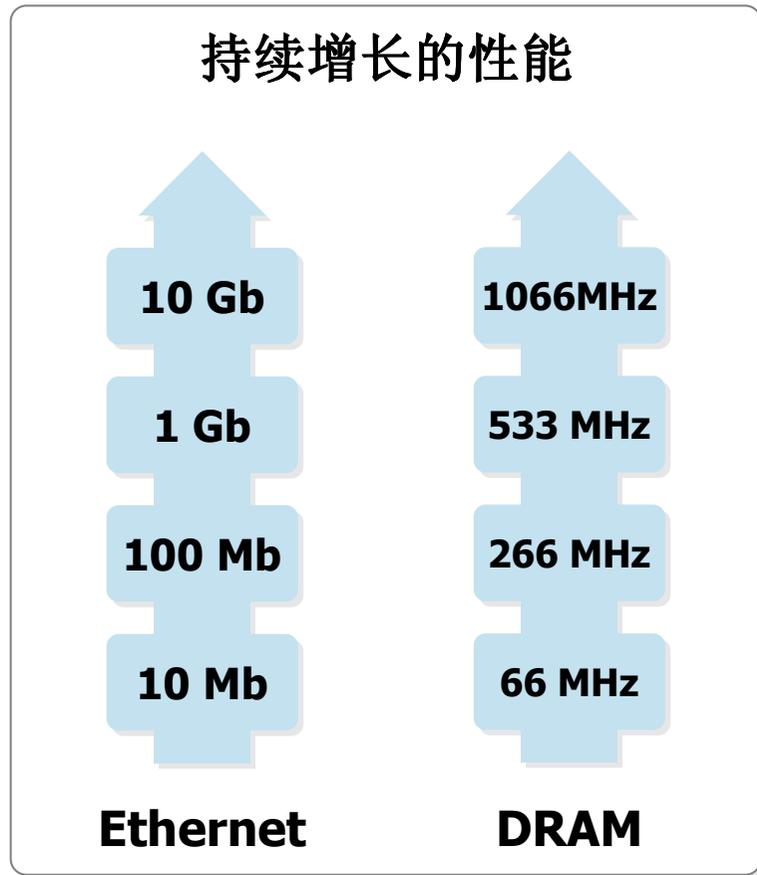
# 日程

---

- ▶ 未来技术发展趋势和未来面临的测试挑战
- ▶ 如何测试和验证信号完整性
  - ▶ 高速互连的测试和验证
  - ▶ 电路基本功能的测试和验证
  - ▶ 眼图和抖动测试
  - ▶ 一致性测试
- ▶ 典型应用分析
  - ▶ 低占空比脉冲测试
  - ▶ 自动记录波形数据

# 当前的技术发展趋势

## 持续增长的性能

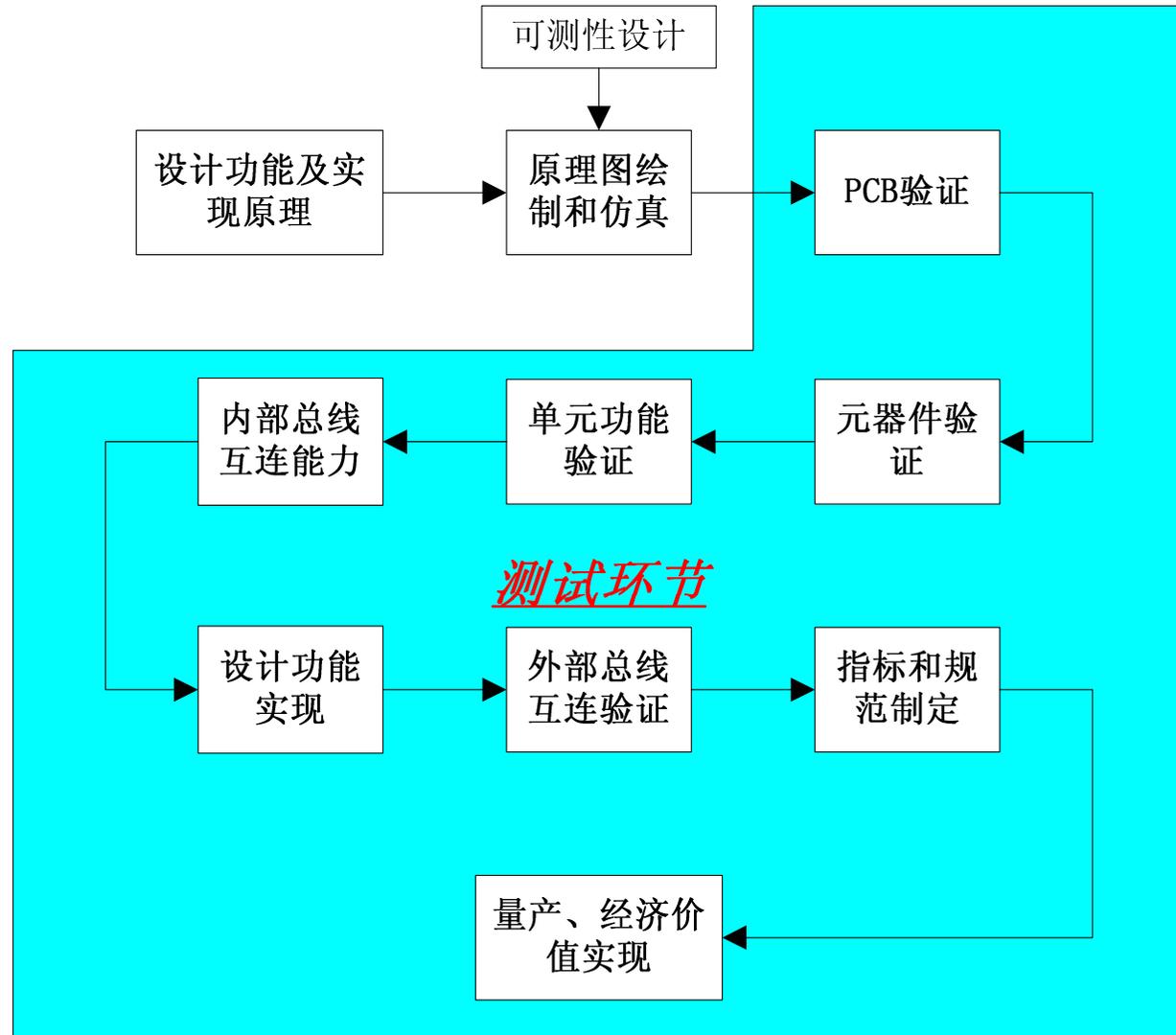


## 不断出现的新技术、新标准

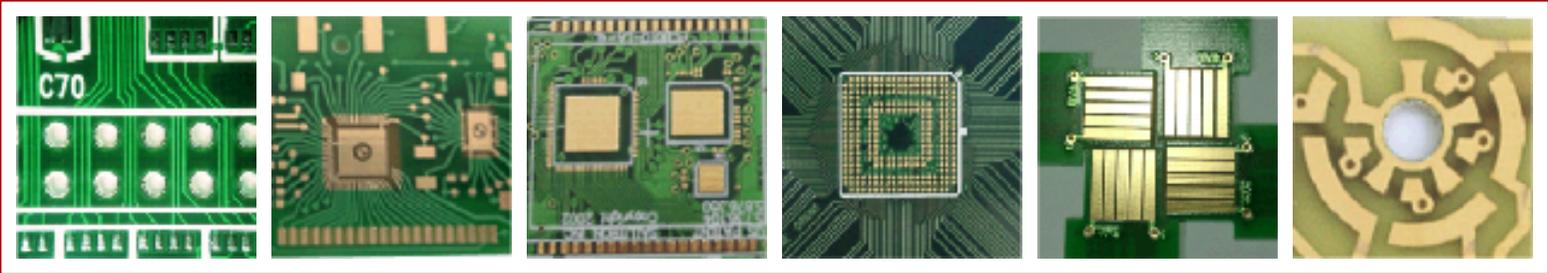


# 设计流程概览

- 每一步都很重要，将会对以后的步骤产生深远的影响



# 第一部分：高速互连的测试和验证



# PCB验证

---

- ▶ 仿真布线是关键
- ▶ 实测也必不可少
  - 简单的短路测试
  - 阻抗验证
  - 接插件选择
  - 串扰情况
  - .....
- ▶ 测试**PCB、Cable、Connector**等传输线特性阻抗的最常用方法是**TDR**方法。

# TDR概述及原理

---

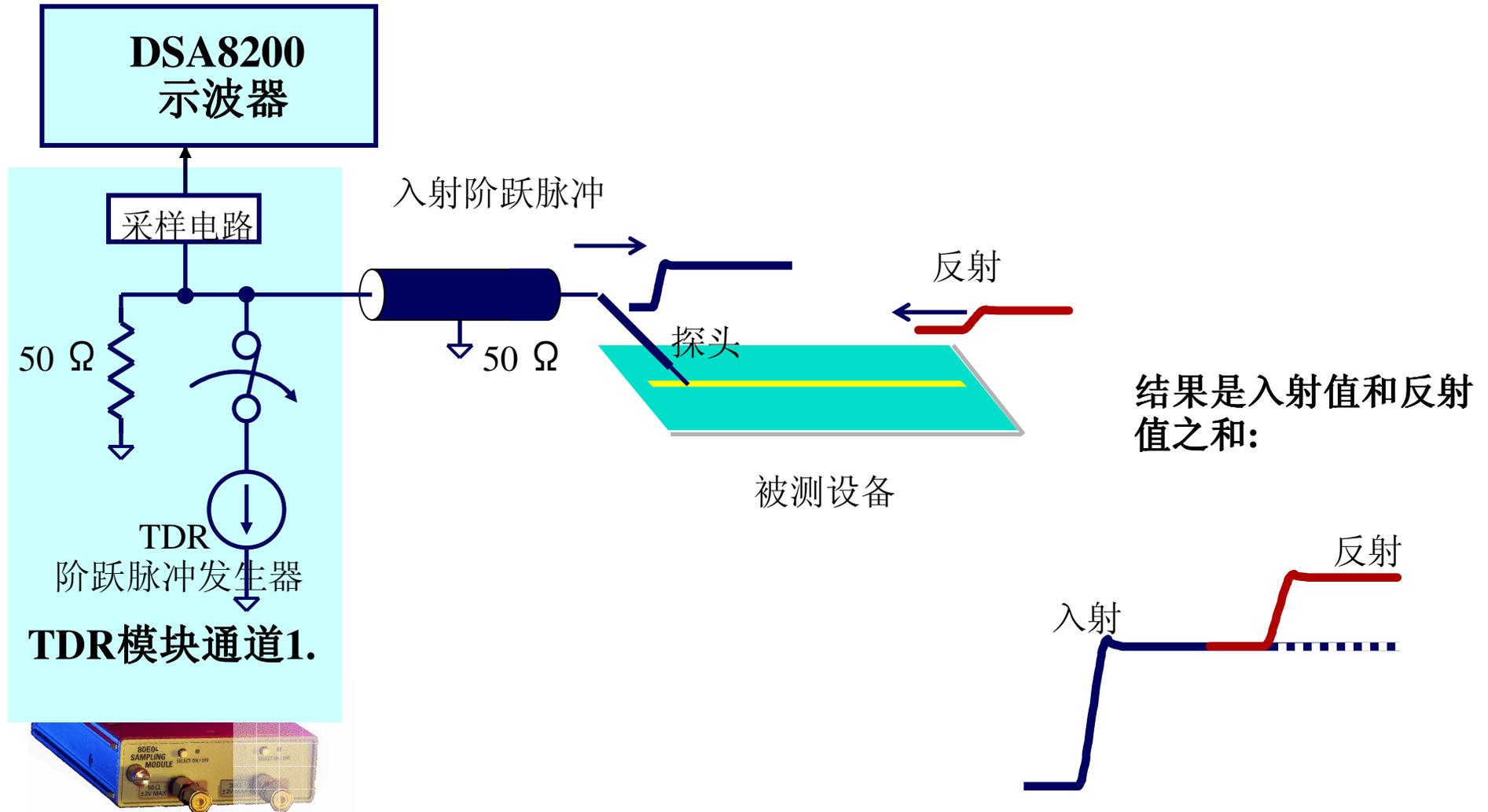
什么是TDR?

- ▶ **TDR**是时域反射计英文(**T**ime **D**omain **R**eflectometry)的第一字母缩写 – 可以直观显示和测量电路反射的电能 (PCB, 电缆, IC封装, ...).

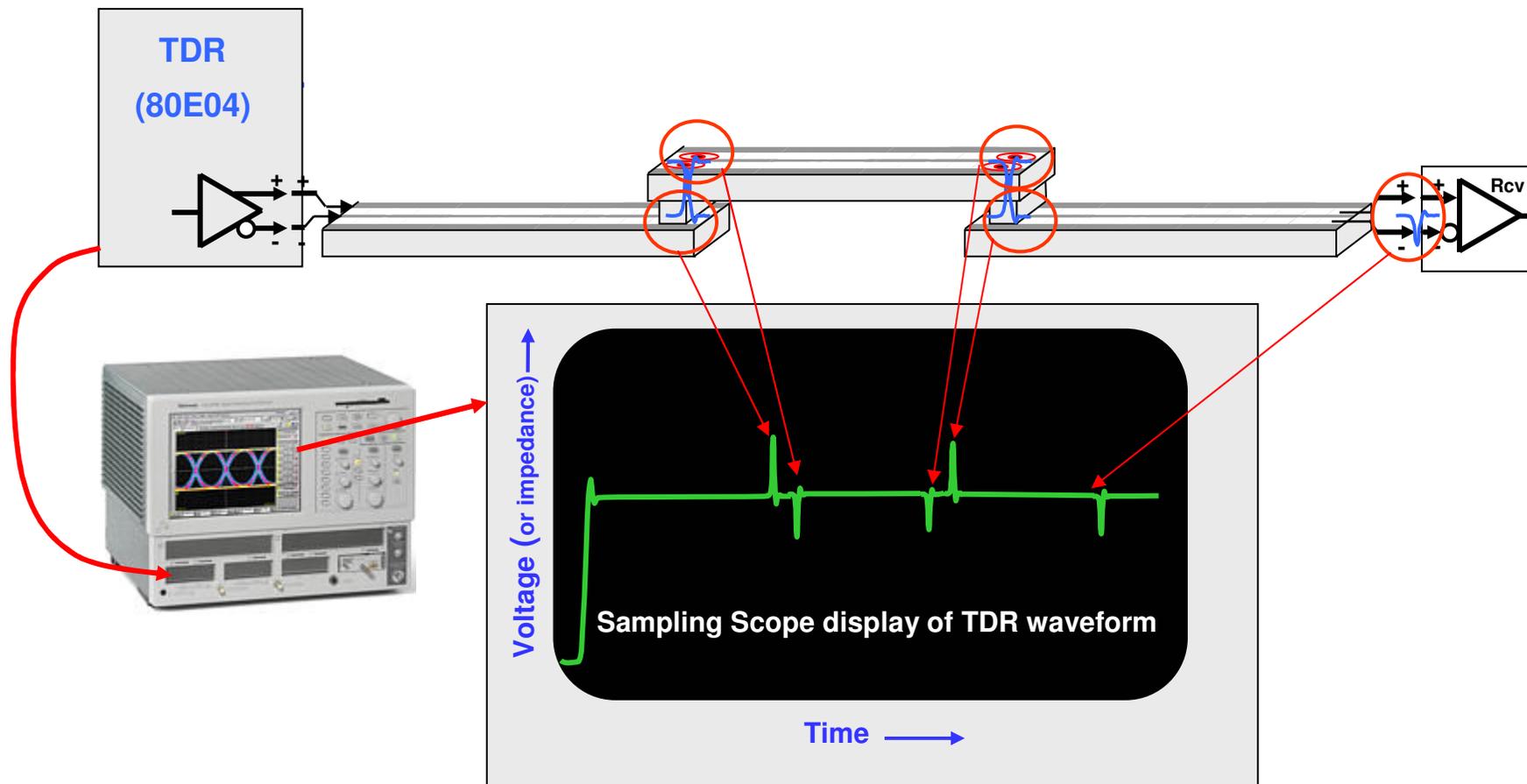
与雷达类似(是固定的, 而不是旋转的), 但它探测的是电路, 而不是空中; 观察到的阻抗不匹配不是飞机, 而是坏连接器、分层PCB等等

- ▶ 今天, 基本TDR的多项扩展非常重要:
  - **差分TDR**
  - **TDT** – 发送测量, 而不是反射测量
  - **串扰** (差分, 单端)

# TDR概述及原理——典型系统

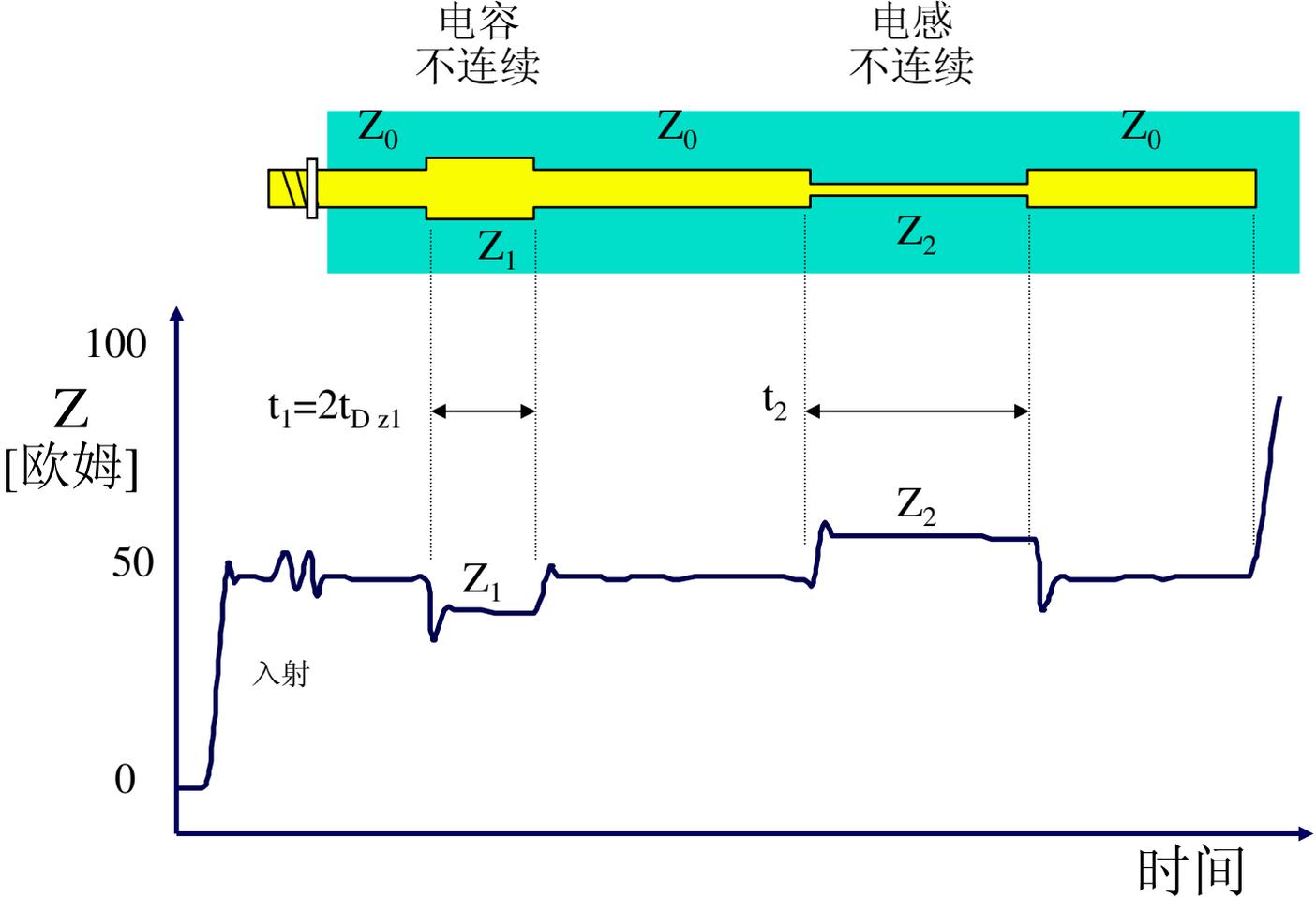


# TDR在信号完整性SI(Signal Integrity)中的应用——Reflection(反射)



► TDR on an Equivalent Time scope is used to measure the quality of the serial data interconnect: A step is generated and returning reflections are sampled (*it's like radar for serial data cables and boards*)

# TDR概述及原理—更加复杂的走线



# 泰克公司TDR测试方案-P8018/P6150



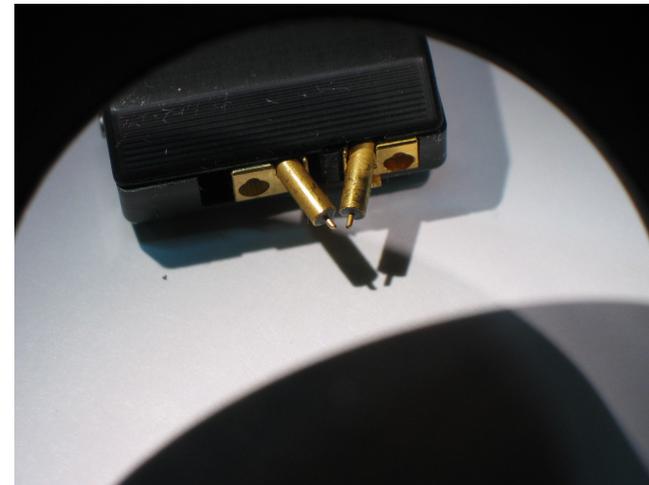
20 GHz Probe Tip Bandwidth  
50  $\Omega$  Impedance TDR Passive Probe



**>9GHz**带宽  
**1X, 10X** 衰减探针  
可调距离宽度的接地线  
**<38.8ps**上升时间  
**<0.15pF** 输入电容

# 高带宽差分TDR探头是测试关键

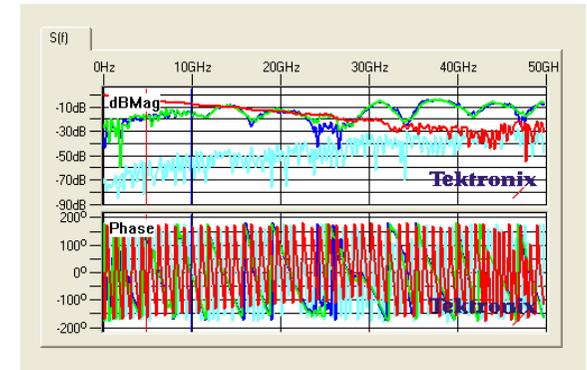
- ▶ **P80318 – 18GHz 100  $\Omega$  手持式TDR阻抗测量探头**
  - 0.5mm to 4.2mm可调间距探头尖
  - FR4材质PCB最小2.5 mm (0.1 in.) 间距分辨
  - 与80A02模块一起使用时提供EOS/ESD 保护功能
- ▶ 专门优化用于差分TDR/TDT测量
- ▶ **P80318X – 18GHz 100  $\Omega$  手持式TDR差分阻抗测量附加探头**
  - 用于主要探头需要维护时的替代品,确保生产时间



# IConnect软件—信号完整性和S参数自动测量软件

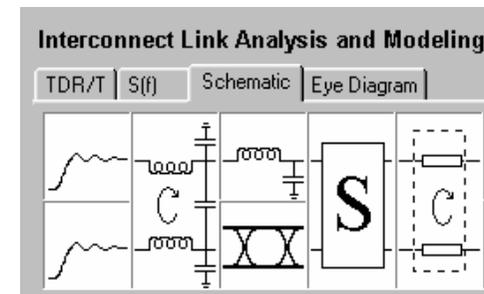
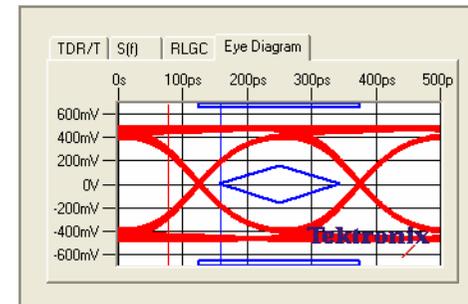
## 性能

- ▶ 高达70dB的动态范围
- ▶ 改善了阻抗测量精度和分辨率(Z-Line)
- ▶ 1M 记录长度，可以在更高频率测量长互连



## 高效，简单

- ▶ 自动程序，最大限度地减少错误，降低测试时间
- ▶ 为制造应用提供了命令行界面
- ▶ 全面的互连链路分析功能
- ▶ 自动提取SPICE模型，集成式分析功能，并支持仿真模型
- ▶ 在几分钟内、而不是几个小时内完成分析任务



# 高速互连测试和验证的配置列表

---

## 1. DSA8200取样示波器主机

- 6个插槽，用于光接口、电接口和时钟恢复
- 200fs时基和450mVrms @60 GHz
- 处理器速度更快，Windows XP，增强了PC连接能力，CD-RW/DVD
- 支持最高同时达8条电通道的测量。
- 支持最多8个参数测量和更多的测量项目，支持复杂的数学运算定义。可直接进行复杂参数定义并运算

## 2. TDR模块

- 80E04,80E08,80E10 Sampler

## 3. 探头

- P8018单端探头, P80318差分探头

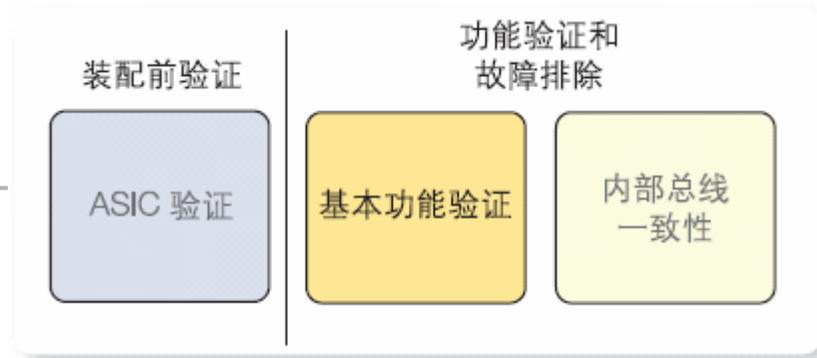
## 4. I-Connect 软件

- 基于TDR/TDT测试S参数，回波损耗等互连的频域参数和模型电流同时测试时的高精度测量

## 第二部分：基本功能验证



# 基本功能验证



- ▶ 完成**PCB** 阻抗测量和元器件验证后，开始装配原型并开始“实际”测量了。功能问题主要在设计过程的下几步显现，并且这些问题必须得到解决。其中的大多数问题都源自于信号完整性问题。将主板上的部件装配到位并协同工作之后，才可能检测到这些问题。
- ▶ **DPO**（数字荧光示波器）是基本功能验证的首选工具。
  - **DPO** 可用于数字系统故障排除、查找间歇性信号，还可用于许多类型的眼图和模板测试。
  - 选择合适的探头系统

# 使用示波器调试，您经常遇到什么问题？

---

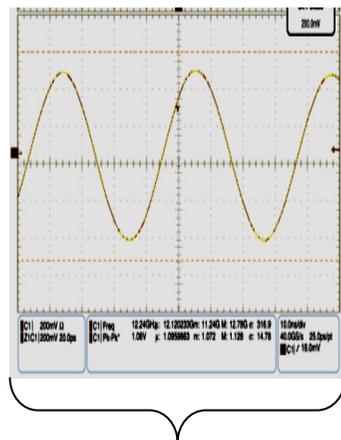
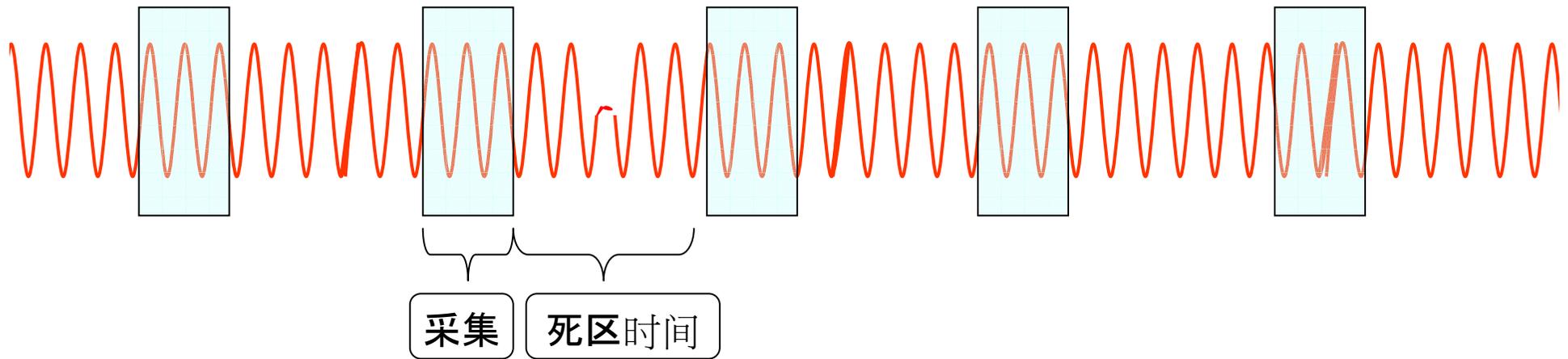
- ▶ 想看看不到
  - 有没有故障？
  - 何种故障，在哪里？
  - 故障的重复性怎样？
- ▶ 看到抓不到
  - 边沿触发？能力太弱
  - 高级触发？功能不足
  - 偶尔碰运气抓到一次，下一次呢？
- ▶ 抓到测不准
  - 示波器测试能力有限
  - 示波器分析能力不足
- ▶ 拿来不会用
  - 裸体示波器？
  - 示波器调试功能不了解
  - 没有时间查看厚厚的使用手册

# DPO平台数字荧光示波器

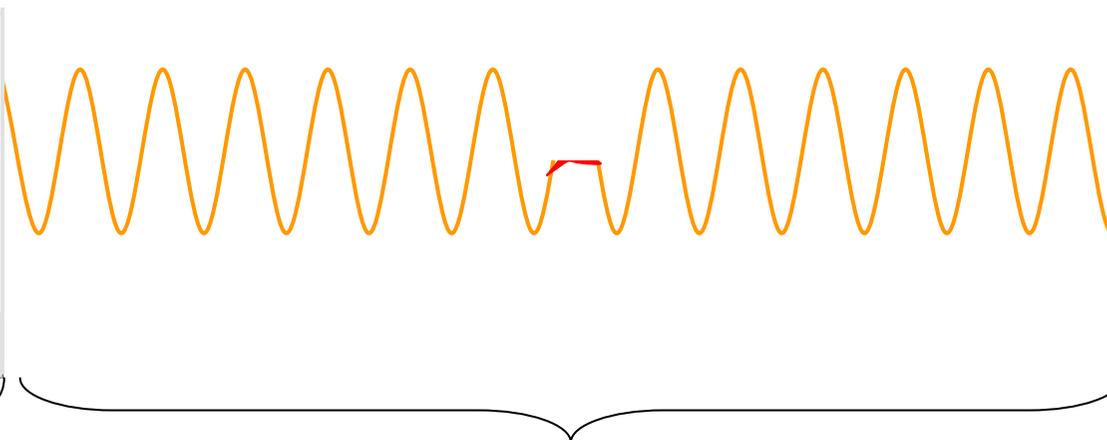


最短的时间发现信号完整性问题

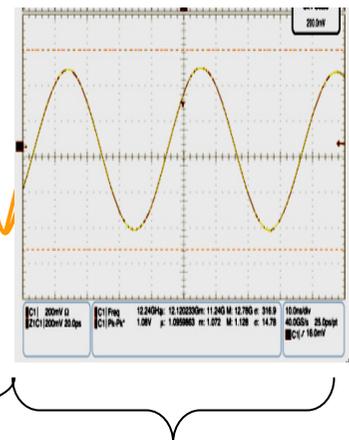
# 示波器波形捕获率：每一秒采集多少个波形



采集到一个波形



漏失波形 = 漏失潜在的故障

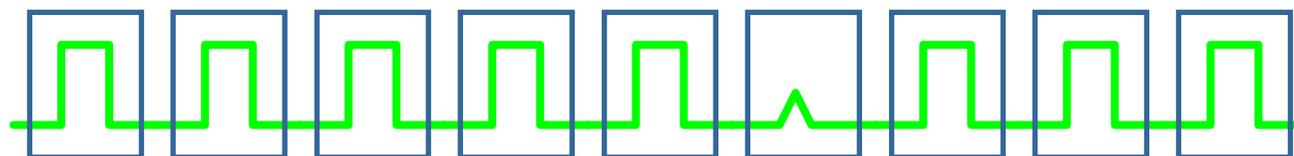


采集下一个波形

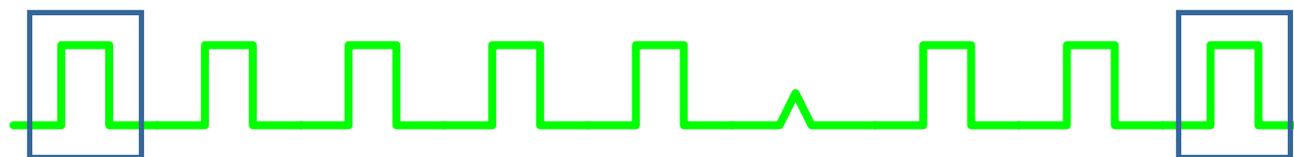
# 波形捕获率对测试结果的影响

---

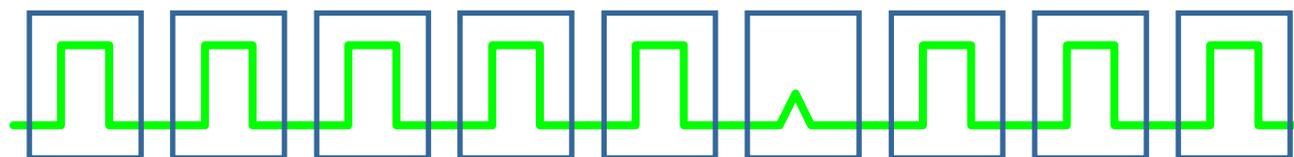
模拟实时



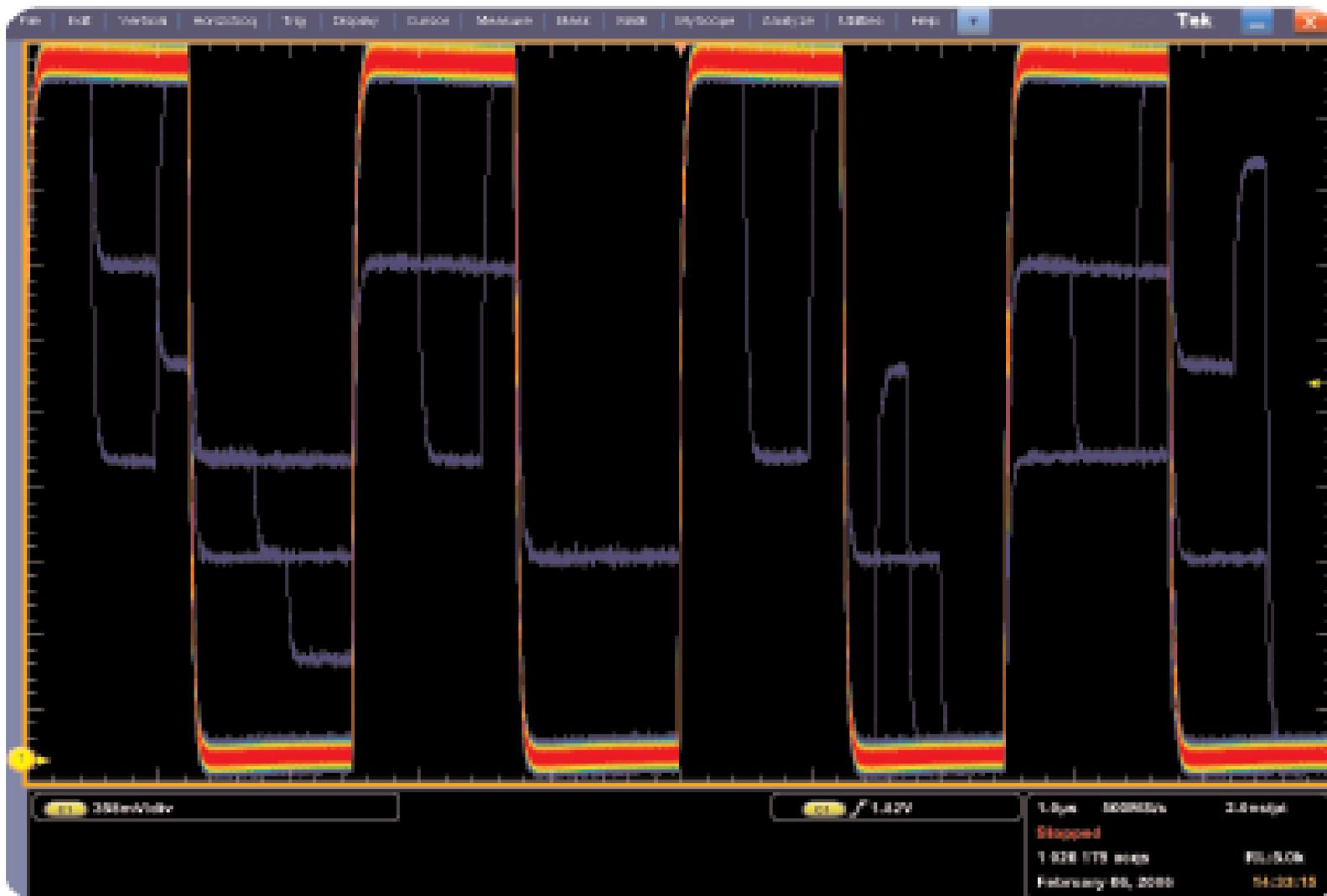
数字存储



**DPX 技术**



# 波形捕获率比较(泰克示波器)



# 最短的时间定位信号完整性问题-触发

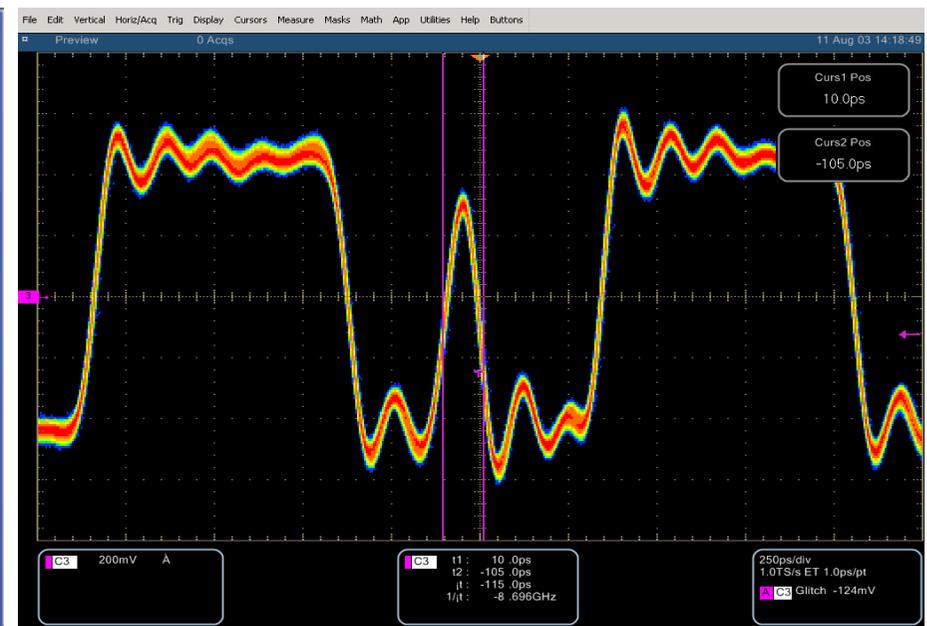


# 针在哪里？



## DPO的效率——触发系统

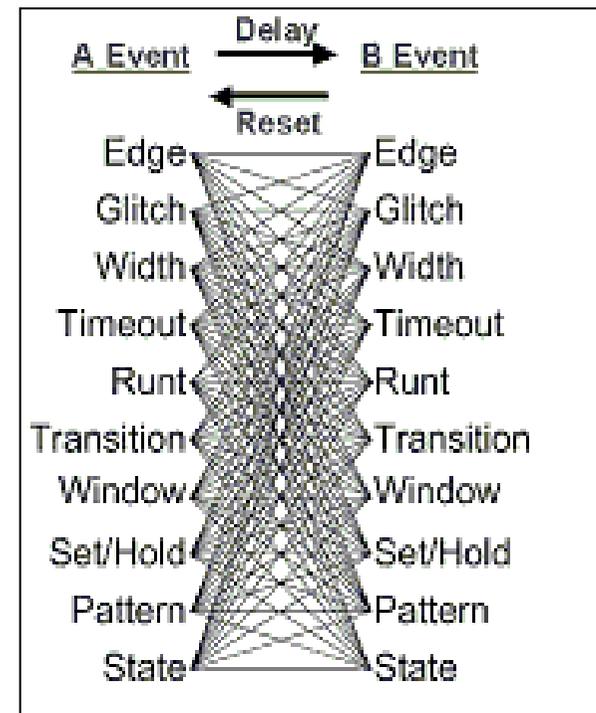
- ▶ 触发系统——最快定位电路特定行为的工具
- ▶ 好的工程师使用长内存——DPO当然提供；聪明的工程师使用触发——泰克使您更聪明
- ▶ 完美的Pinpoint™触发系统，可以几乎没有限制地定义条件，捕获最快的瞬变信号



# DPO的效率——触发系统

- ▶ 使用顶级的触发技术
  - 在所有触发方式下使用最新一代SiGe技术，性能全面超过业界其它产品
- ▶ 广泛使用于泰克中高端示波器的Pinpoint™触发系统
  - 九大类触发模式灵敏度可高达9GHz
- ▶ Pinpoint™ 触发系统
  - 业界最完善的触发系统
  - 唯一完善的双触发系统

## Virtually Unlimited Trigger Combinations Plus Comm & Serial



# 迎击信号完整性和 数字系统测试的挑战



世界上最快的逻辑分析仪  
和前所未有的新型探头

# 为什么需要逻辑分析仪?

---

- ▶ **因为其他仪器不能用以解决以下问题**
  - **同时观测许多路信号(例如16位数据, 8位A/D)**
  - **“看到”数字电路的真实运行情况**
  - **以数字电路的运行的方式观测信号**
  - **能够逻辑组合触发, 序列触发来精确定位系统的运行情况**
  - **实时跟踪微处理器的代码流**
  - **捕获间歇性系统故障**
  - **系统崩溃的原因跟踪**

# TLA7012 便携式主机箱概览

最多支持2个136通道模块



- ▶ 世界显示面积最大的逻辑分析仪 15 英寸 38.1厘米 (1024x768 显示分辨率)
- ▶ 可选触摸屏
- ▶ 兼容以往泰克逻辑分析仪所有模块
- ▶ 数据吞吐率快6倍
- ▶ 支持外部PC控制
- ▶ 新结构设计

# TLA7012 便携式主机箱硬件平台

## 最多支持2个136通道模块

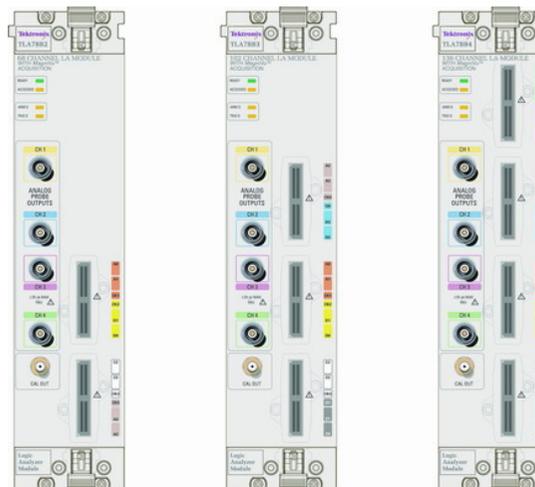


- ▶ Intel® 2 GHz Pentium® M-760
  - ▶ Intel® 915GM chipset (533 MHz FSB)
  - ▶ 1 GB DDR2 RAM (expandable to 2 GB)
  - ▶ Gigabit Ethernet (GbE) LAN
  - ▶ 7 USB 2.0 ports (3 front + 4 rear)
- ▶ 4.7 GB DVD±R/RW drive
- ▶ Removable 3.5" 80 GB SATA 7200 RPM Hard Drive
- ▶ Dual external display outputs (1600x1200)
- ▶ Optional 3.5" USB floppy available
- ▶ No PC Card, PS/2, serial nor parallel ports
  - ▶ USB-to-serial/parallel adapters available via 3<sup>rd</sup> parties
- ▶ Windows XP Pro + SP2 with Multilingual User Interface Pack (34 languages)
- ▶ USB Security Block for secure environments

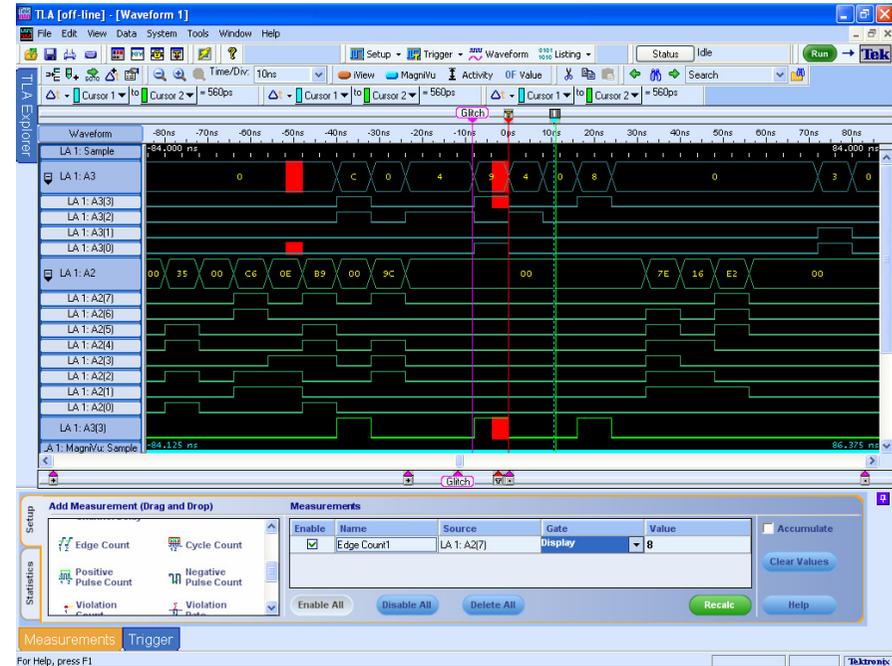
# TLA7BBx

## Banner Specification Overview

DIGITAL CHARACTERISTICS	TLA7BB2	TLA7BB3	TLA7BB4
Digital Channels	68	102	136
High Speed Timing (MagniVu)	50GS/s (20ps)		
Deep Memory Timing	800/1600/3200/6400 MS/s		
State Speed	1.4GHz/2.8Gbps		
Memory Depth	Standard 2Mb, Maximum 64Mb		
Probes	P68xx and P69xx		
Analog Mux	3 GHz		



# 支持FPGA调试的Tektronix 逻辑分析仪家族



- ▶ TLA7000系列 – 高性能, 模块化, 易于扩展
- ▶ TLA5000系列 – 最高的性价比

# 高速数字系统设计和调试

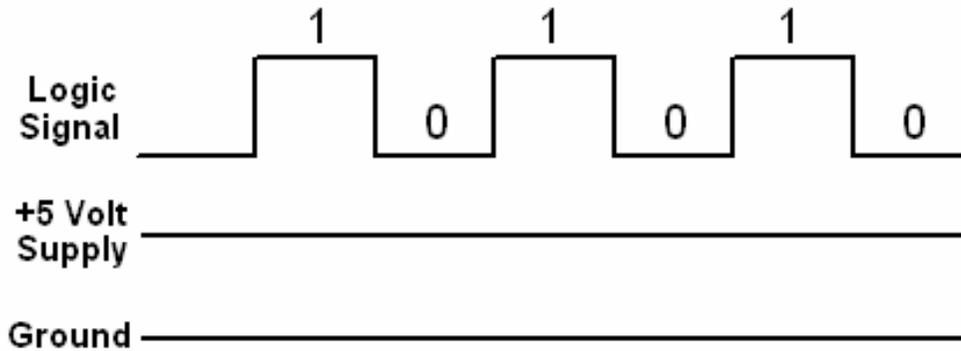
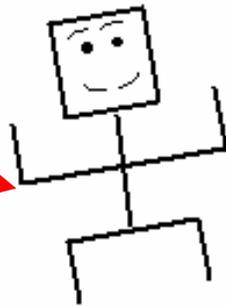


泰克DPO示波器+TLA逻辑分析仪

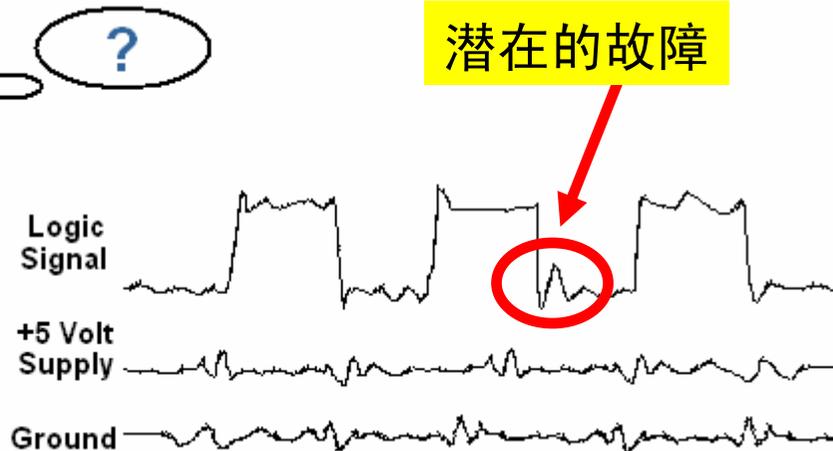
iLink™ 逻辑分析仪工具包

# iView™ 技术: 快速定位和分析硬件故障

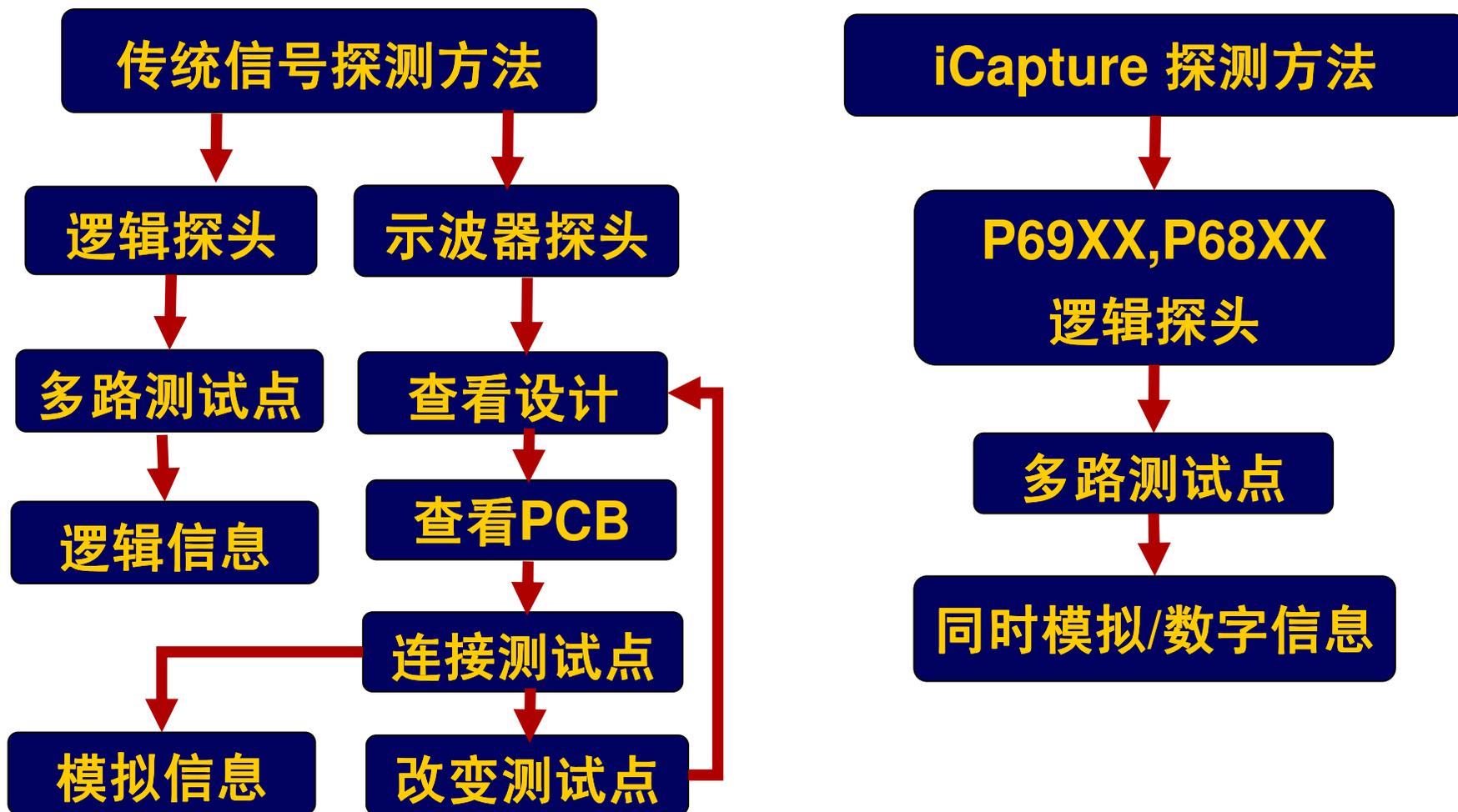
教科书上的  
数字信号



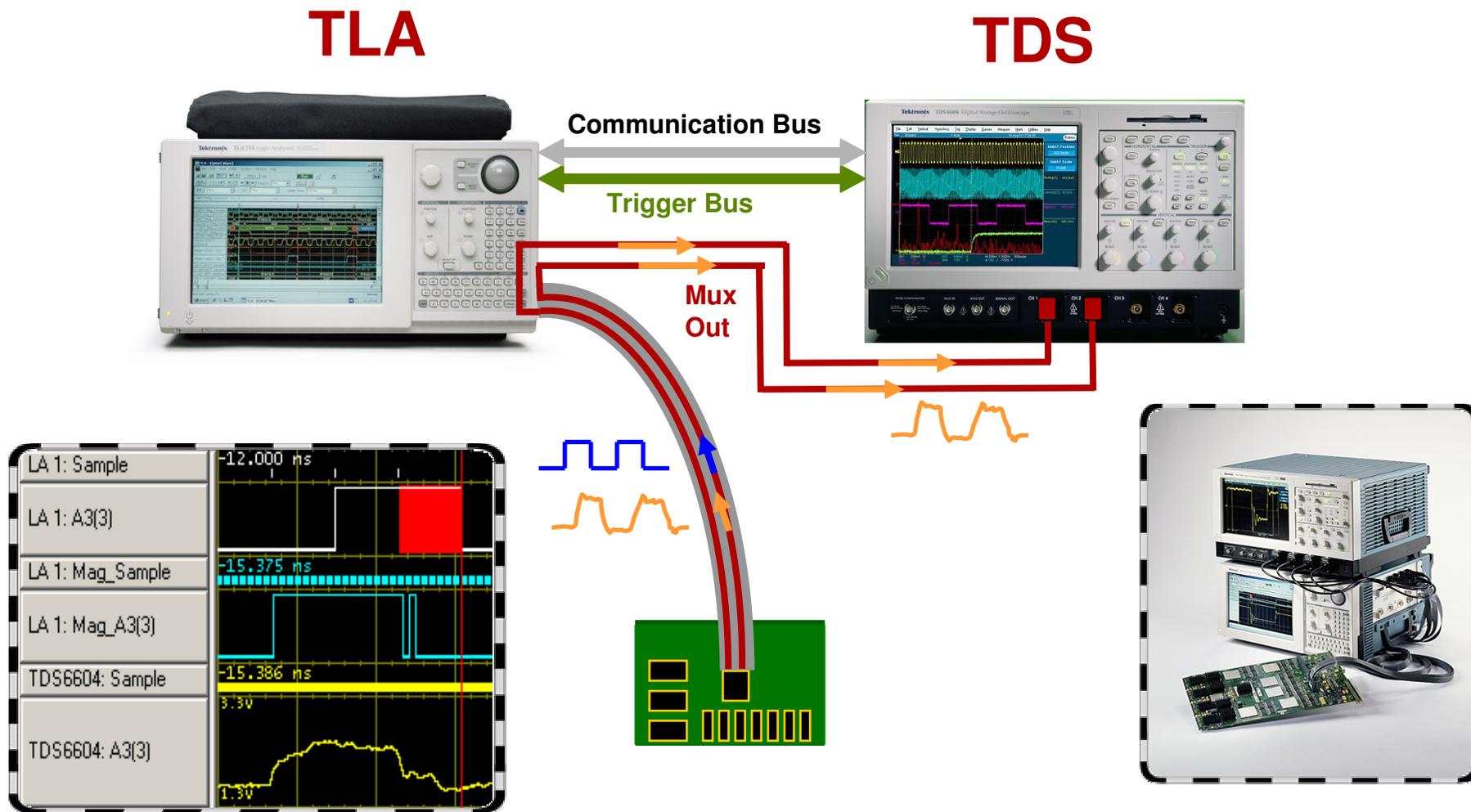
示波器测量的  
数字信号



# iCapture™ 技术提供最灵活的探测方案

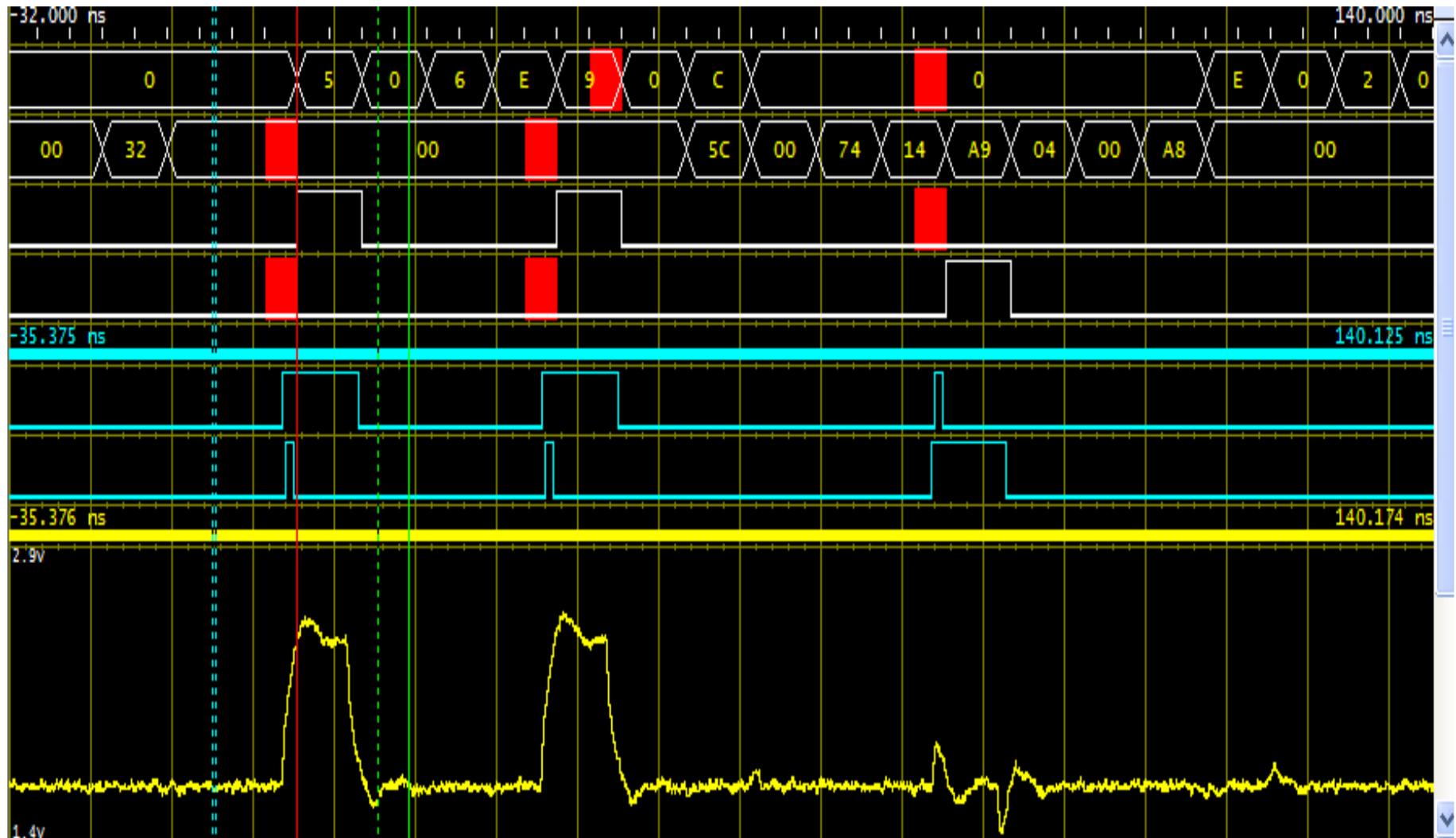


# 一个逻辑探头完成模拟/数字信号联合观测

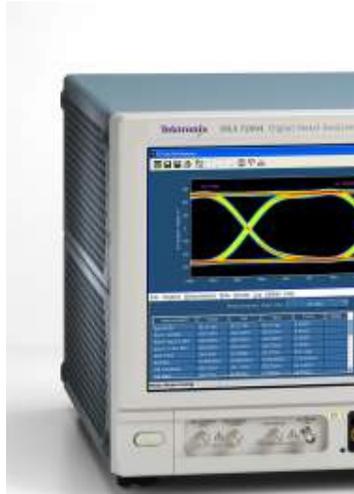


## iLink™ 逻辑分析仪工具包

# iView™ 技术：模拟参数/逻辑时序联合观测



# MSO70000 高性能混合信号示波器



Real Time  
20 GHz



Logic Analyzer  
& iCapture

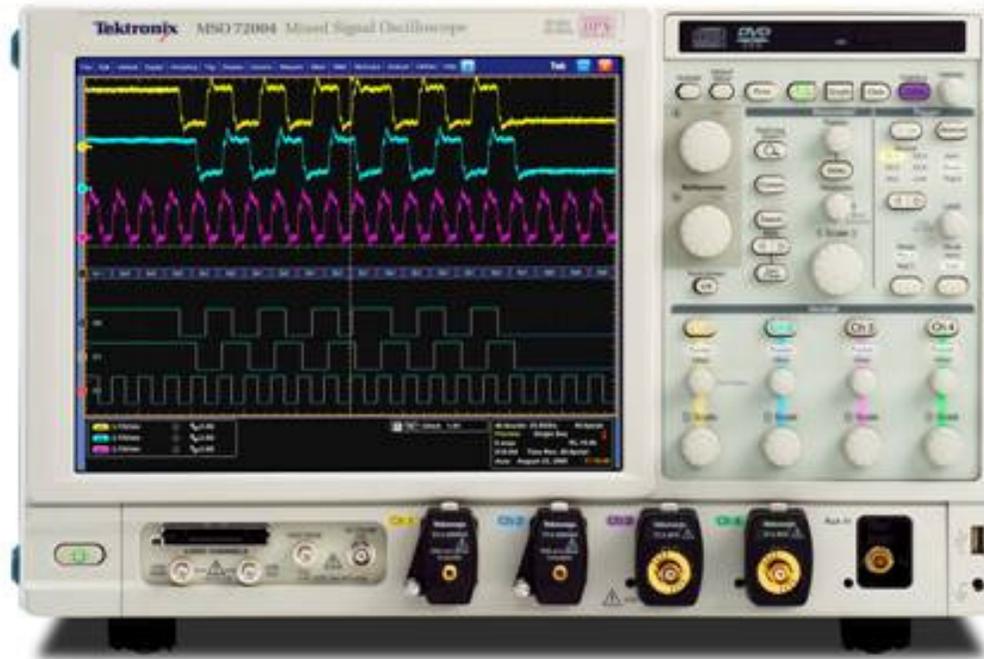
## MSO70000

目前世界上唯一的高性能混合信号示波器

## 新产品介绍

▶ 目前世界上唯一的高带宽混合信号示波器

MS070000 系列



高性能

精确度

信号探测

洞察力

# MSO70000 高性能混合信号示波器

业内领先的配有高性能数字通道的实时示波器

高性能

■ 20G带宽模拟通道  
4个通道

■ 80ps 数字定时分辨率  
■ 20 ps 模拟定时分辨率

■ 16 数字通道  
连同4个模拟通道  
组成的采集系统

■ 深存储  
■ 对于模拟和数字通道全部为250M/ch

■ 事件触发能力  
隔离定位偶发的故障

iCapture™ 同时进行模拟数字时间相关调试

■ 新数字逻辑探头  
提供高信号保证度  
以及最小的负载

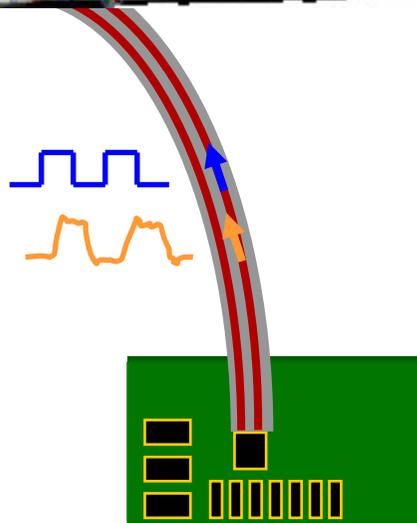
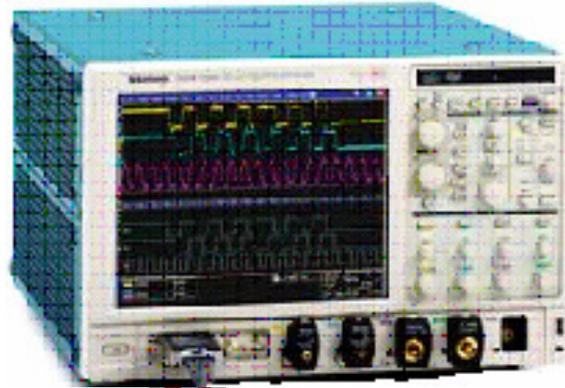
集成了并行总线、  
I2C、SPI解码功能



# iCapture™ – 一次连接同时观测模拟和数字

信号探测

**MSO70000**

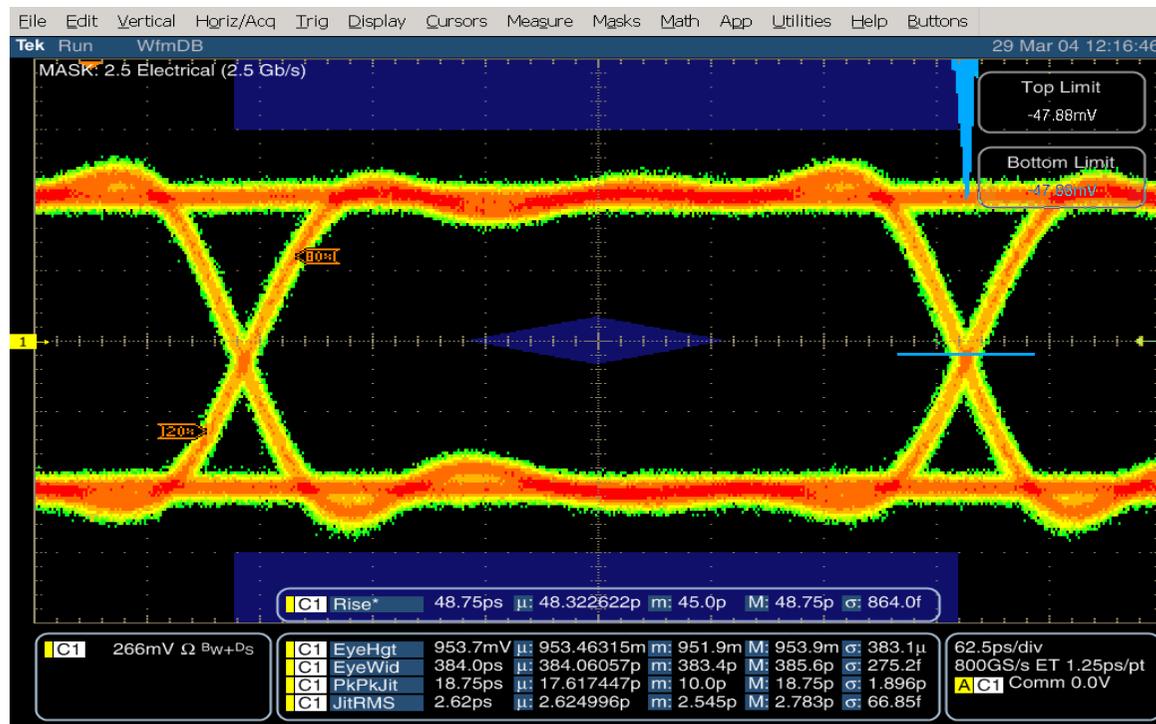


## 第三部分：抖动眼图测试



# 为什么要测试眼图

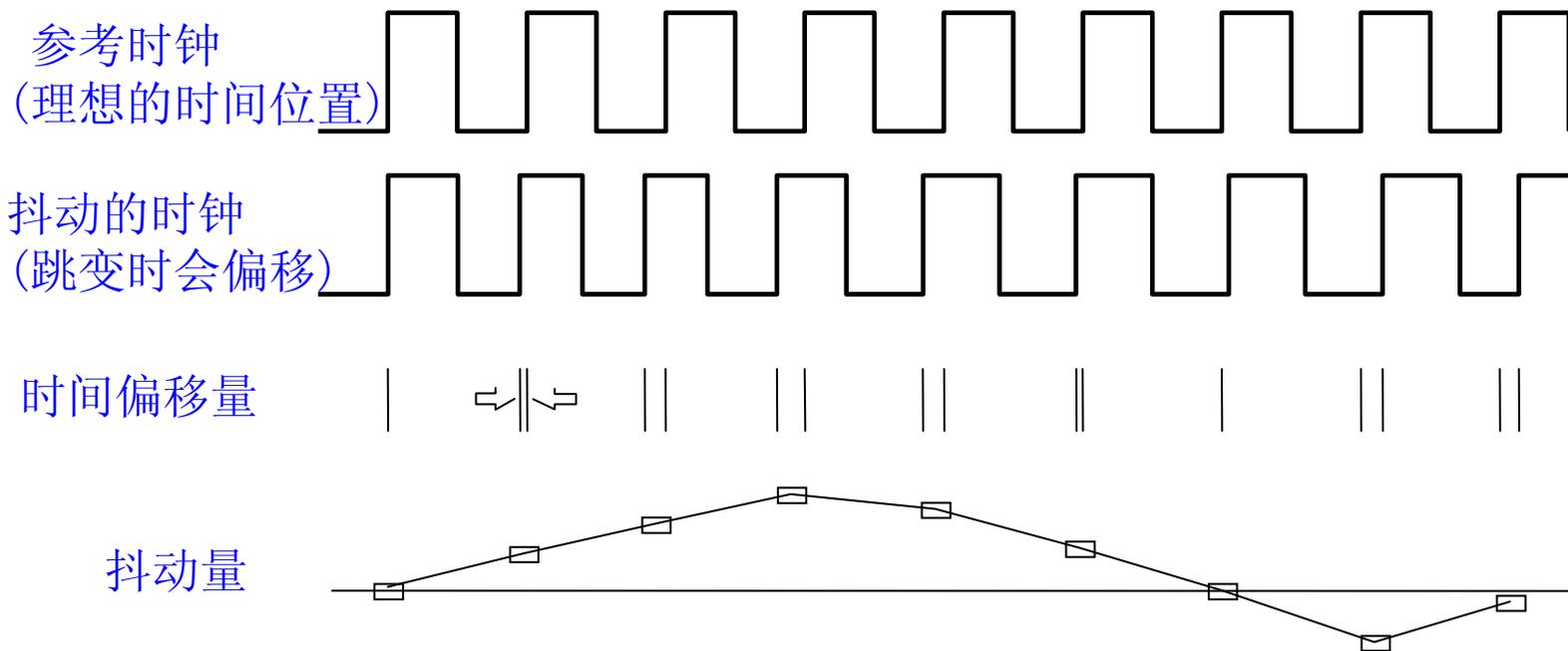
- ▶ 眼图是串行信号质量的最直接反映
- ▶ 眼图的好坏是接收端设备生产厂家所直接关心的
- ▶ 眼图是串行信号定性分析的最常用手段



# 抖动的定义

抖动可以定义为

“一个信号在跳变时，相对其理想时间位置的偏移量”



# 抖动的测量分类

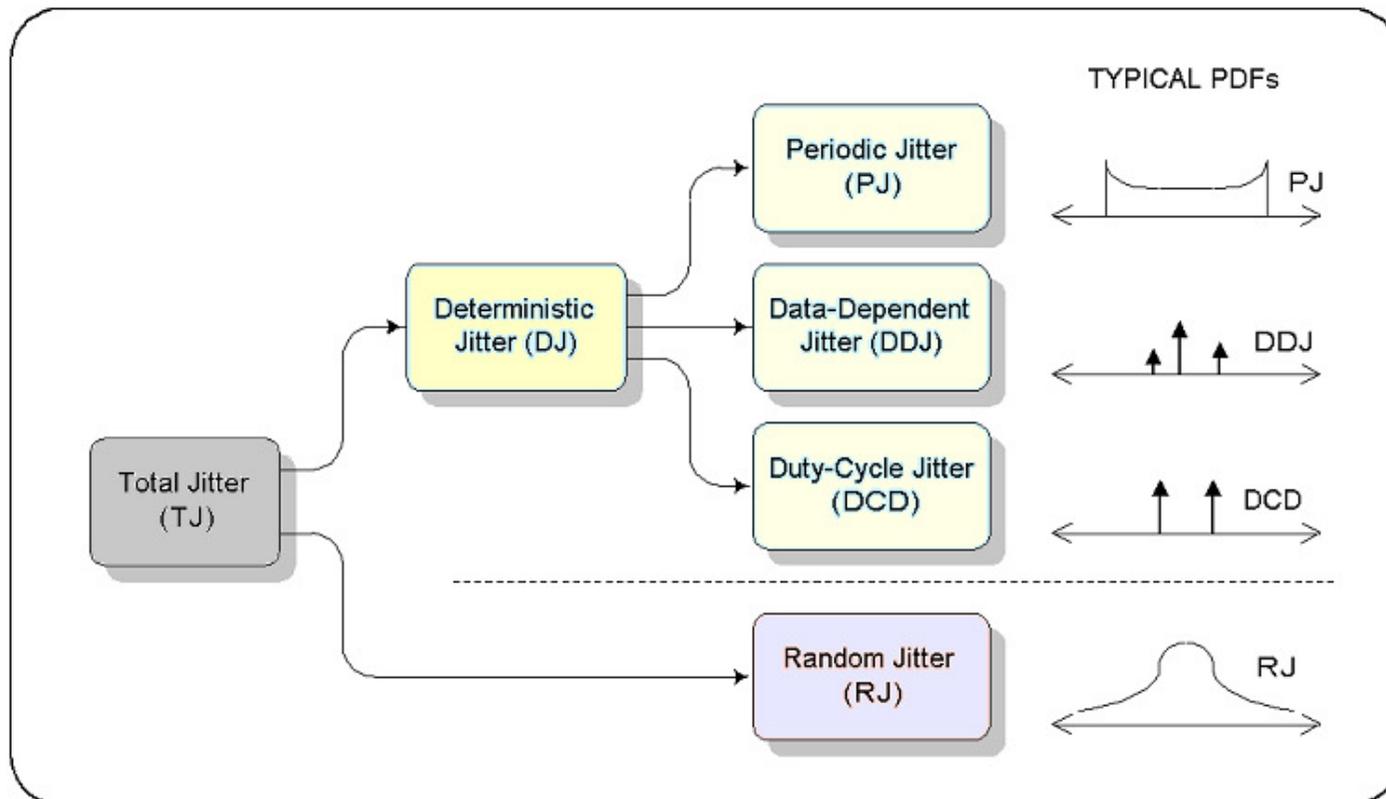
---

- ▶ 时钟抖动：  
period jitter, cycle-cycle jitter, N-cycle jitter等
- ▶ 高速串行数据的抖动测试：TIE (time interval error) 等
- ▶ 并行总线中数据与时钟相关的抖动：setup-hold time jitter等

# Tj: Total Jitter

## ► Total Jitter

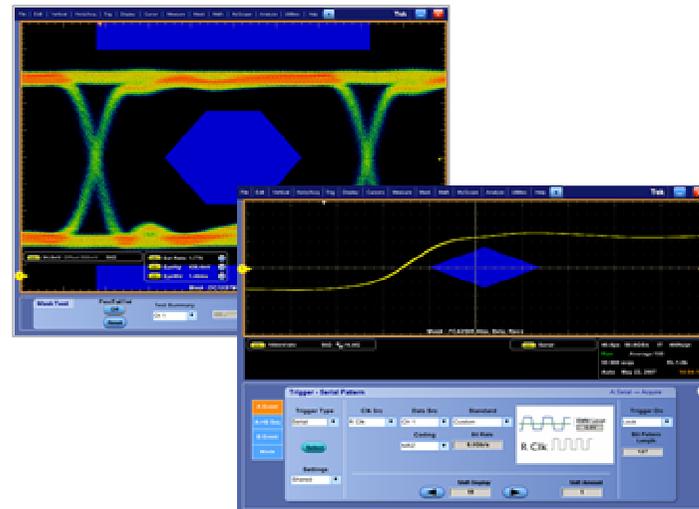
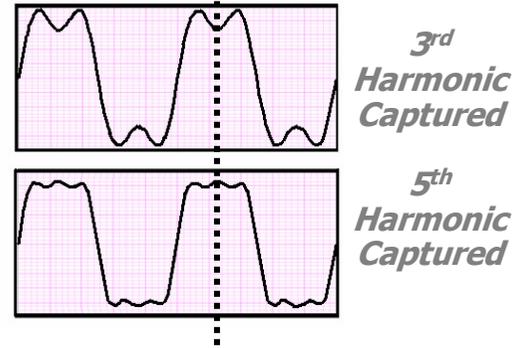
- 评估大量数据时的抖动: 例如  $10^{12}$  bits



# 进行高速串行测试的必要前提条件

- ▶ 带宽足够的示波器
  - 业内公认的带宽标准：5倍基频(或2.5倍的数据率)
  - 例如:SATA3.0, 比特率6Gbps, 需要15GHz模拟带宽的示波器进行测试
- ▶ 串行数据触发和码型同步
  - Serial Trigger(串行触发)是定位、调试高速串行数据的基本要求
  - 码型同步功能提供可以隔离出模板违规的bit位, 以评估ISI对串行系统的影响
- ▶ 硬件时钟恢复电路和等效眼图测试
  - 快速进行串行数据分析、调试
  - 通信行业所采用的标准测试方法

Serdes Sample Point



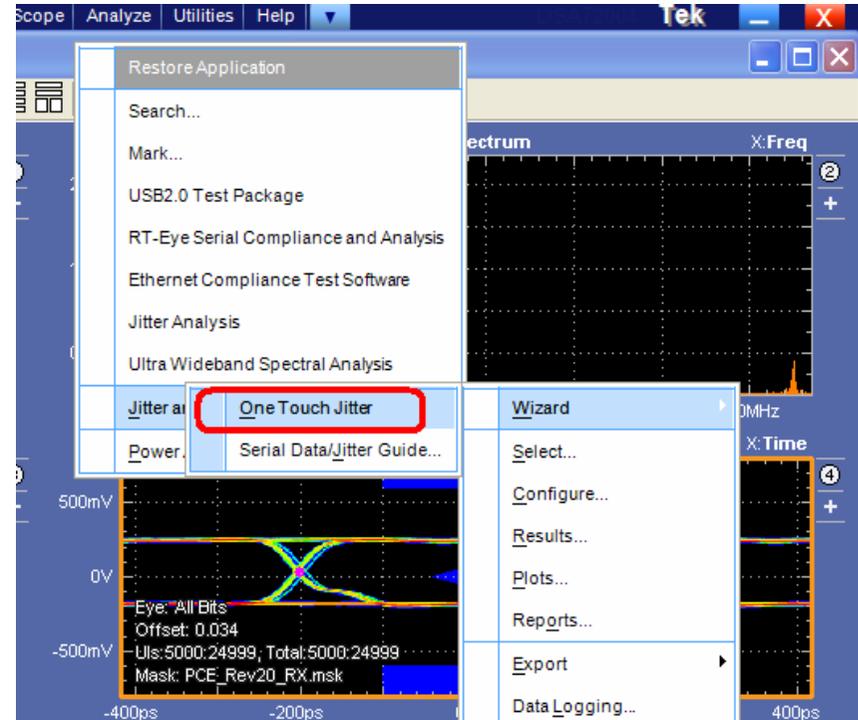
***DPOJET® : 一种全新的、易用的、快速的、完整和准确的抖动测试工具***



***DPOJET : Jitter + Eye Diagram + Tools***

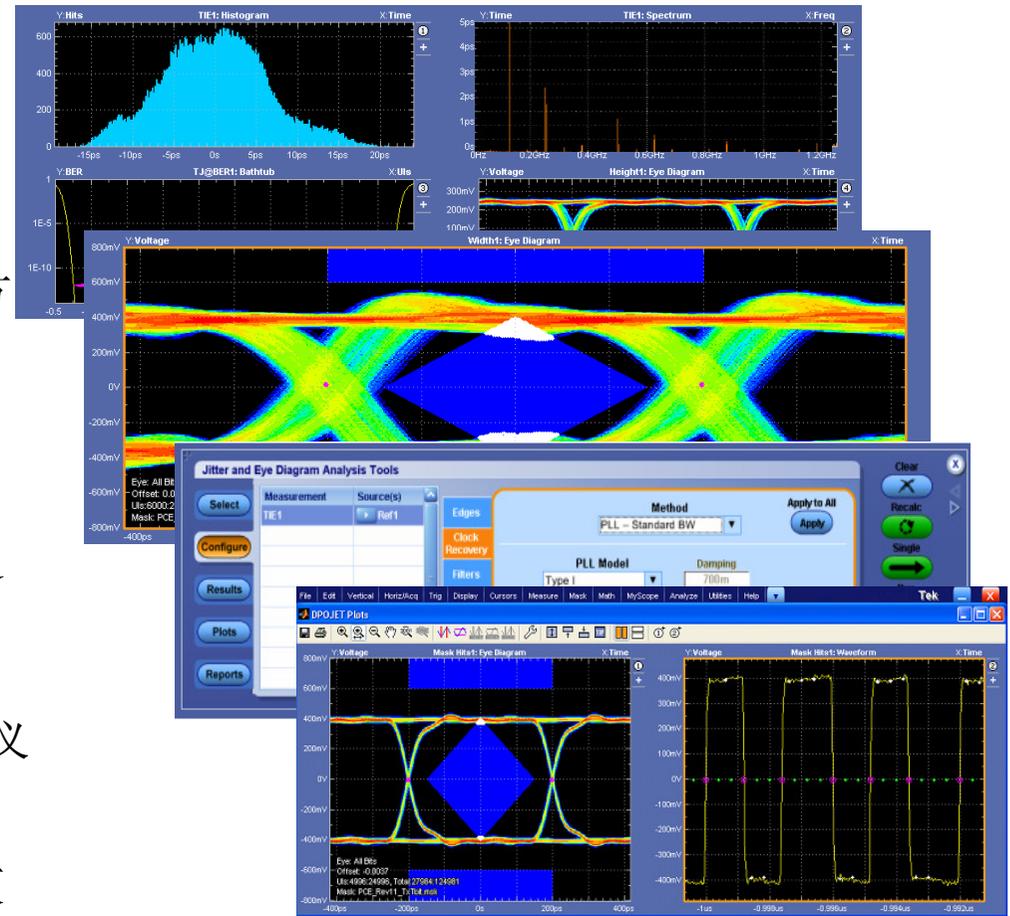
# DPOJET业内使用 **最简单**的抖动测试工具

- ▶ “ONE Touch”一键式的软件设计思路，任何抖动测量，无需复杂的设定，一键完成测试
  - 自动选择示波器输入通道
  - 自动判断测试信号类型(clock或data)
  - 最优化完成示波器采集参数
  - 自动测试参考电平
  - 自动选择抖动项目(用户可定制)
  - 自动完成测量项目参数设定
  - 自动完成结果分析、图表生成
- ▶ “ONE Touch”一键式功能使得工程师摆脱枯燥的、繁琐、易错的参数设置环节，直接将测试结果呈现在工程师面前！

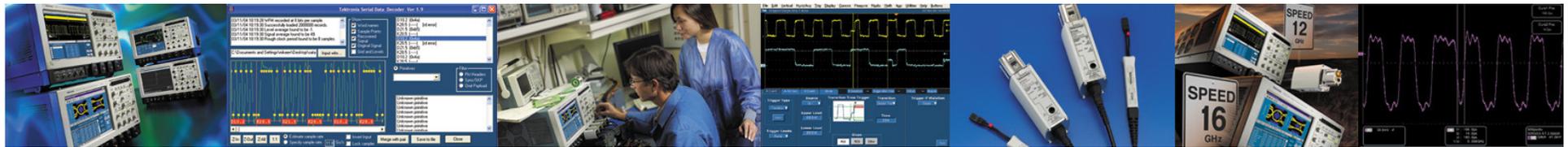


# DPOJET业内分析能力**最强大**的抖动测试工具

- ▶ 多域分析抖动
  - 抖动直方图
  - 抖动频谱图
  - 时间趋势图
- ▶ 提供Tektronix专利的抖动分离方法，帮助工程师定位故障
  - 抖动频域分离方法，业内公认的抖动分离方法
- ▶ 丰富多样的时钟恢复方法，满足各种应用的需求
  - Golden PLL
  - TypeI/II PLL loop BW 用户可自定义
  - 外部时钟
- ▶ 眼图测量帮助定位隐藏在串行数据中“有嫌疑”的bit



## 第四部分：一致性测试



# Tektronix提供计算机、通信行业一致性测试标准支持

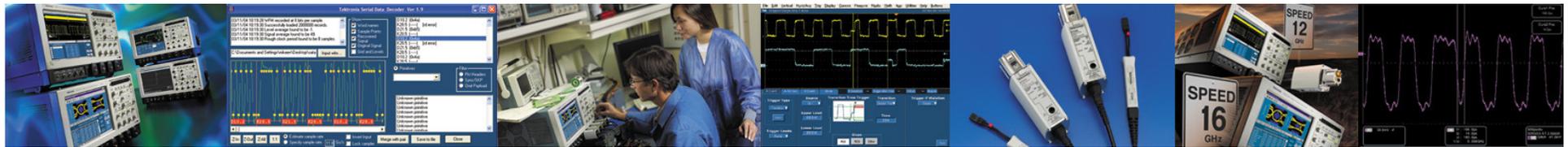
- ▶ PCIExpress Gen II
- ▶ DisplayPort
- ▶ HDMI
- ▶ SATAII/III
- ▶ DDR2/3
- ▶ Ethernet
- ▶ USB
- ▶ WiMedia
- ▶ Inifiband
- ▶ FiberChannel
- ▶ XAUI

The image displays several screenshots of Tektronix's signal analysis software. The top row shows two eye diagrams with associated histograms and BER plots. The middle row features a source eye diagram with a 'Results' panel showing 'PASS' status and various signal quality metrics. The bottom row shows a mask eye diagram with a detailed analysis table. The table below summarizes the data from the bottom screenshot:

Select	Resolution	Max	Min	p-p	Population	Max.c	Min.c
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V
Mask-Hdr1.Ckt	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000V	0.0000V

Logos for SERIAL ATA, PCI EXPRESS, HDMI (HIGH-DEFINITION MULTIMEDIA INTERFACE), DisplayPort, and USB (NI-SPEED COMPATIBLE) are also present.

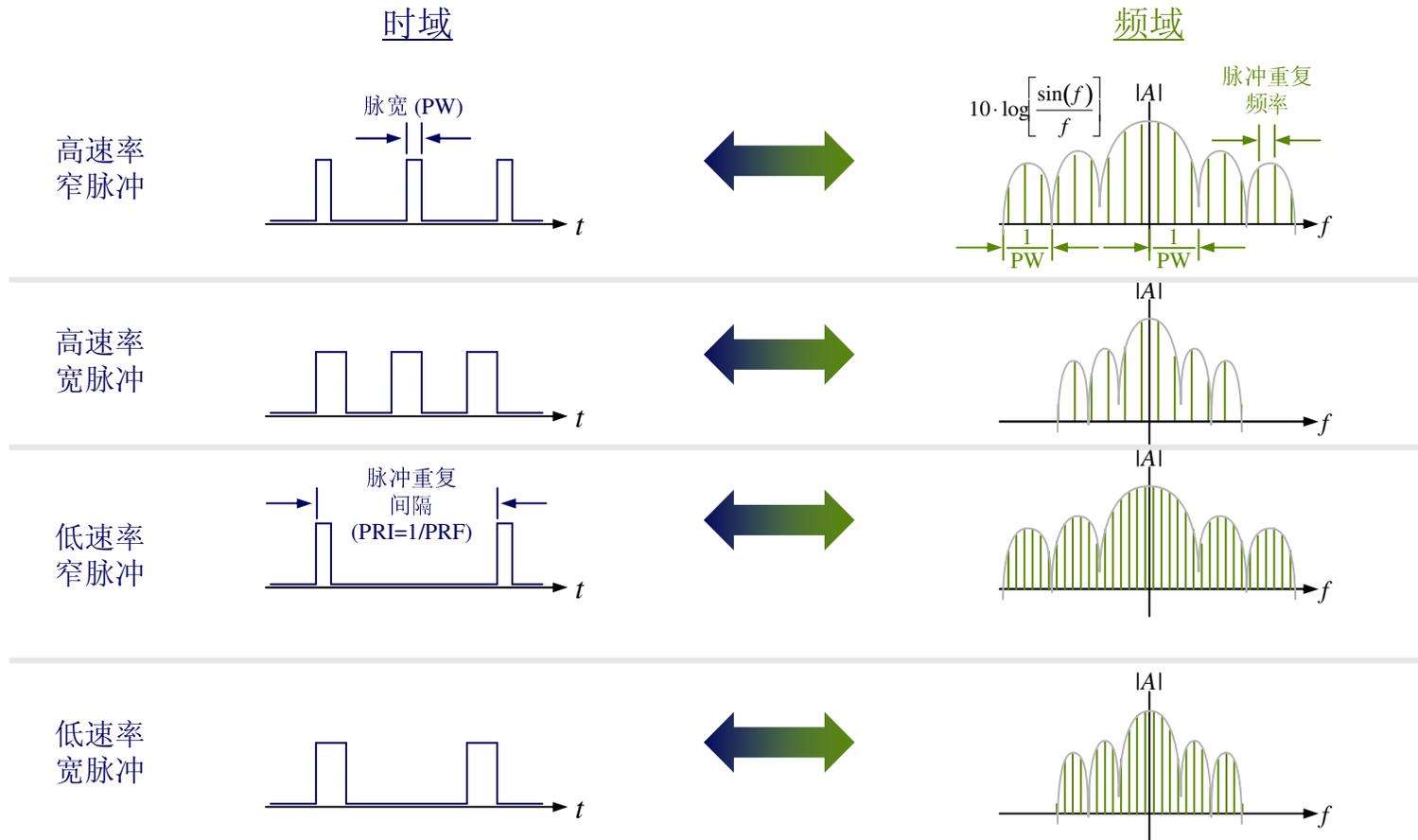
# 典型应用分析



# 如何测量低占空比脉冲信号



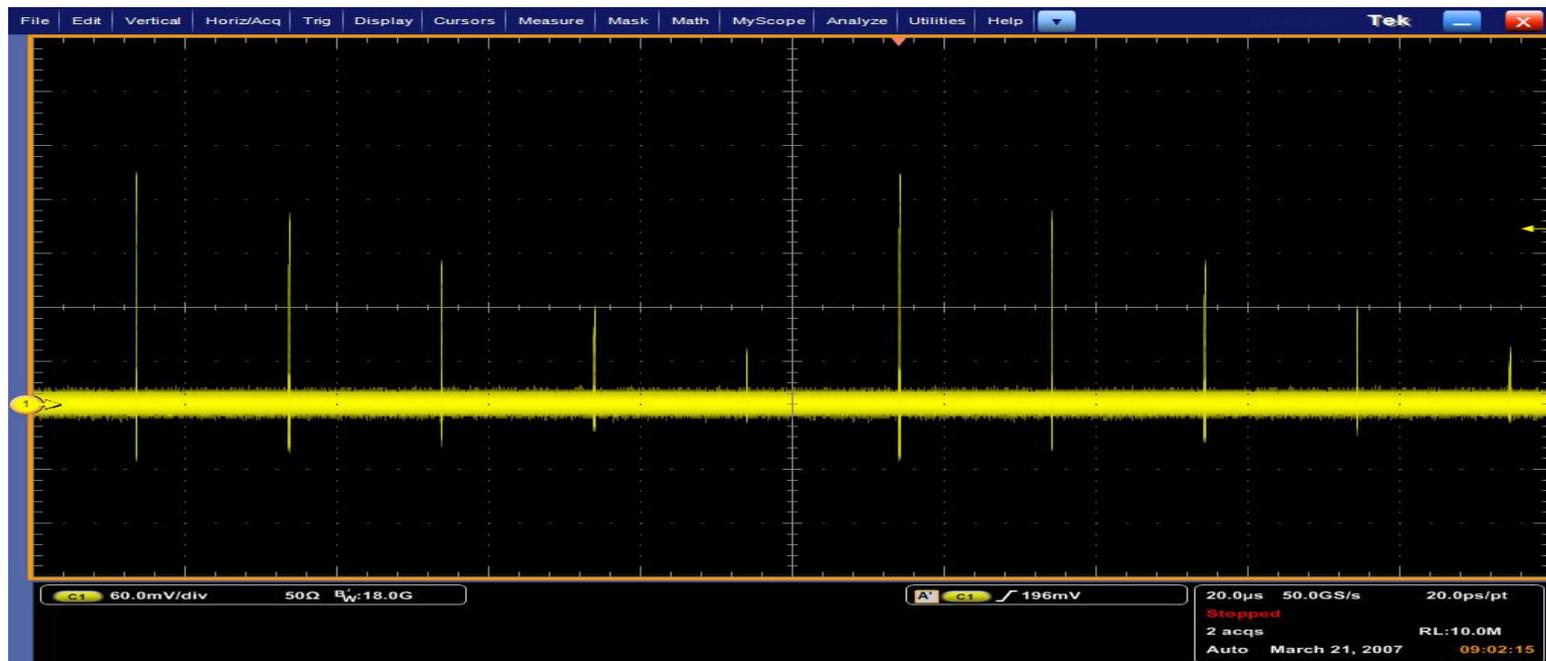
# 挑战



# 传统测试方法

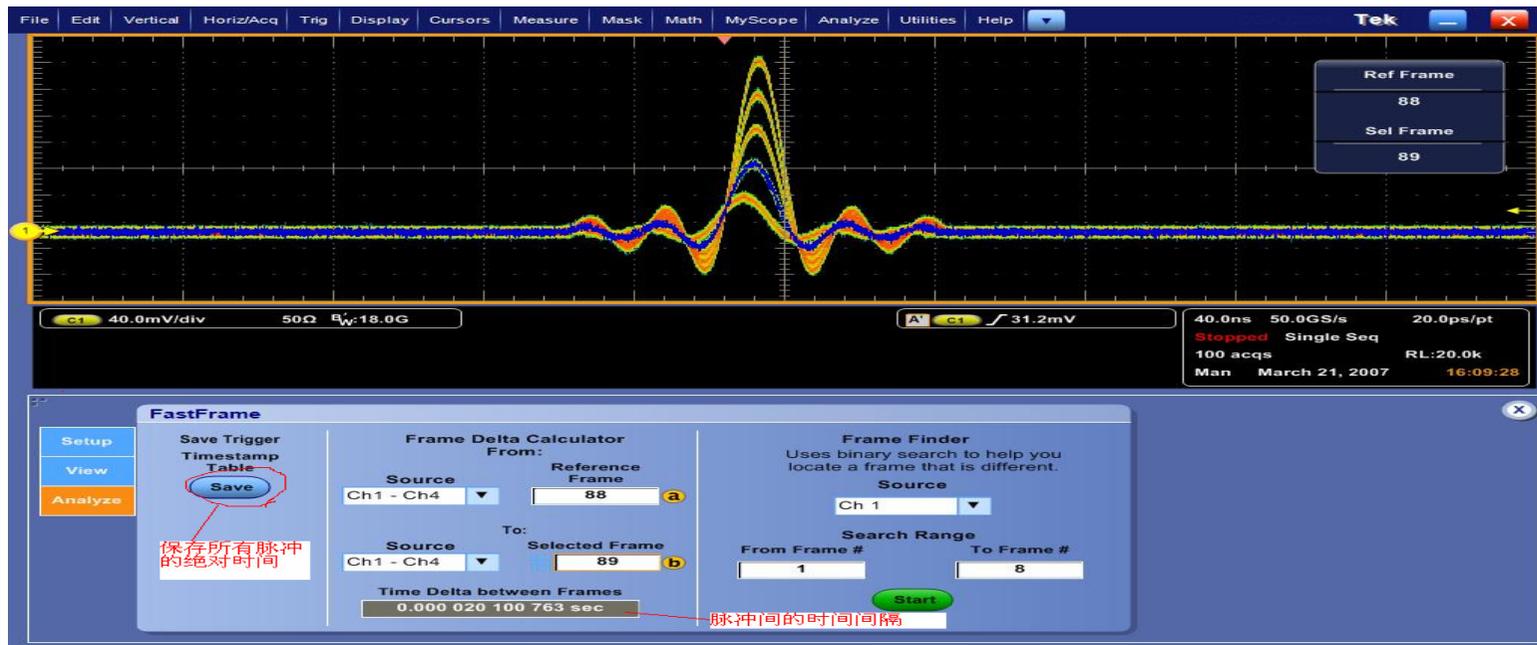
## 1. 长内存捕获

如果想查看多个连续脉冲，必须提高采集的时间窗口。让多个脉冲落在示波器提供的有限存储器内，很多时候必须通过降低采样率来达到。降低采样率本身会降低水平分辨率，使得时间测试精度大大下降。



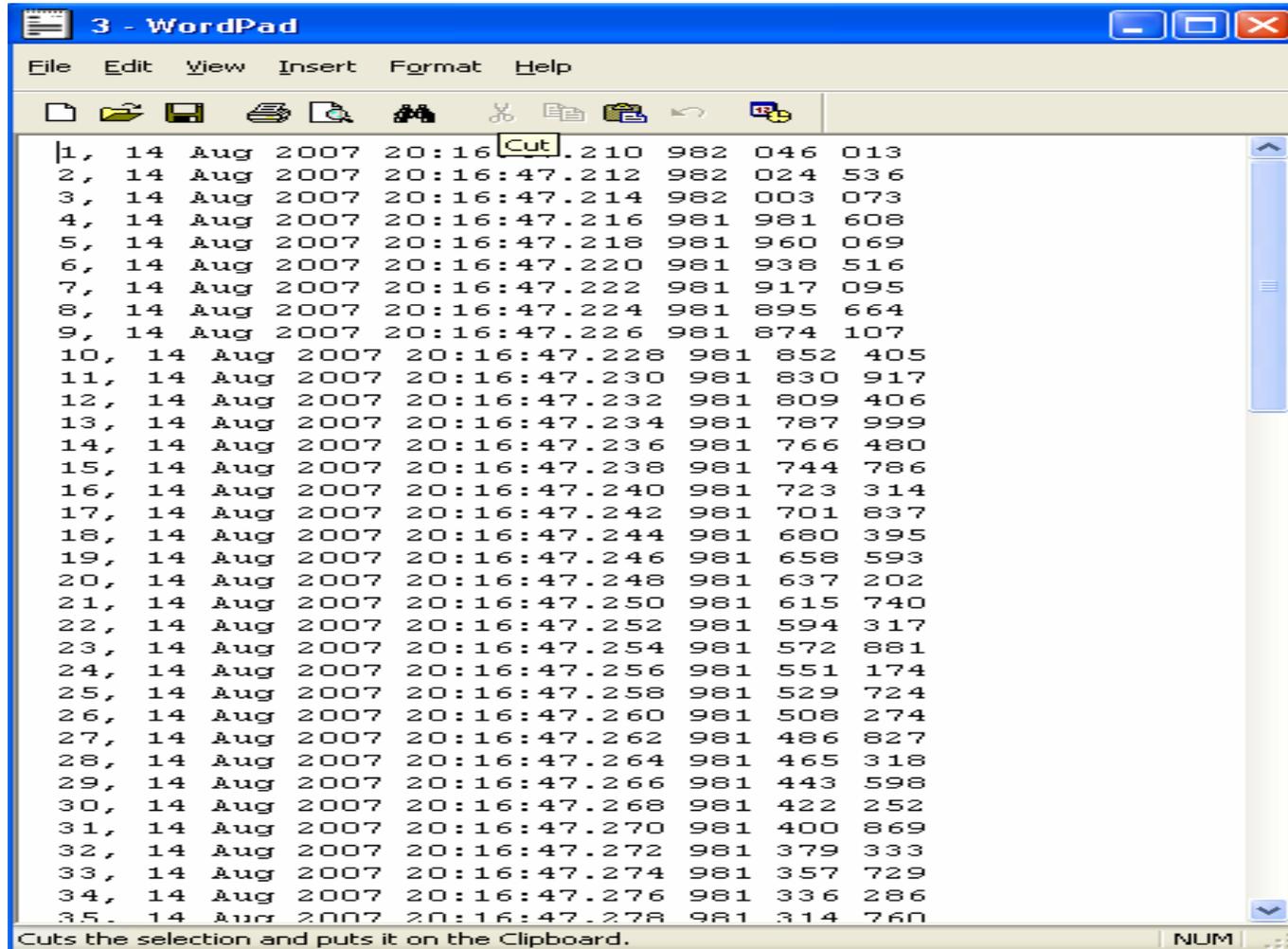
# DPO的洞察力——快帧Fastframe

1. 泰克采用FastFrame分段存储技术的示波器，允许把现有的存储器分成一系列段，然后每一次触发后采集的数据只填充其中一段，每次采集都可使用所需的采样率。通过根据测试要求定义触发条件，可以只捕获感兴趣的波形段，然后将捕获的每个事件存储在拥有各自编号的存储段中。
2. 采集完成以后，用户可以按捕获顺序单独查看各个存储段的波形或帧数据，或分层显示多个存储段波形或帧数据，方便对测试结果进行比对。



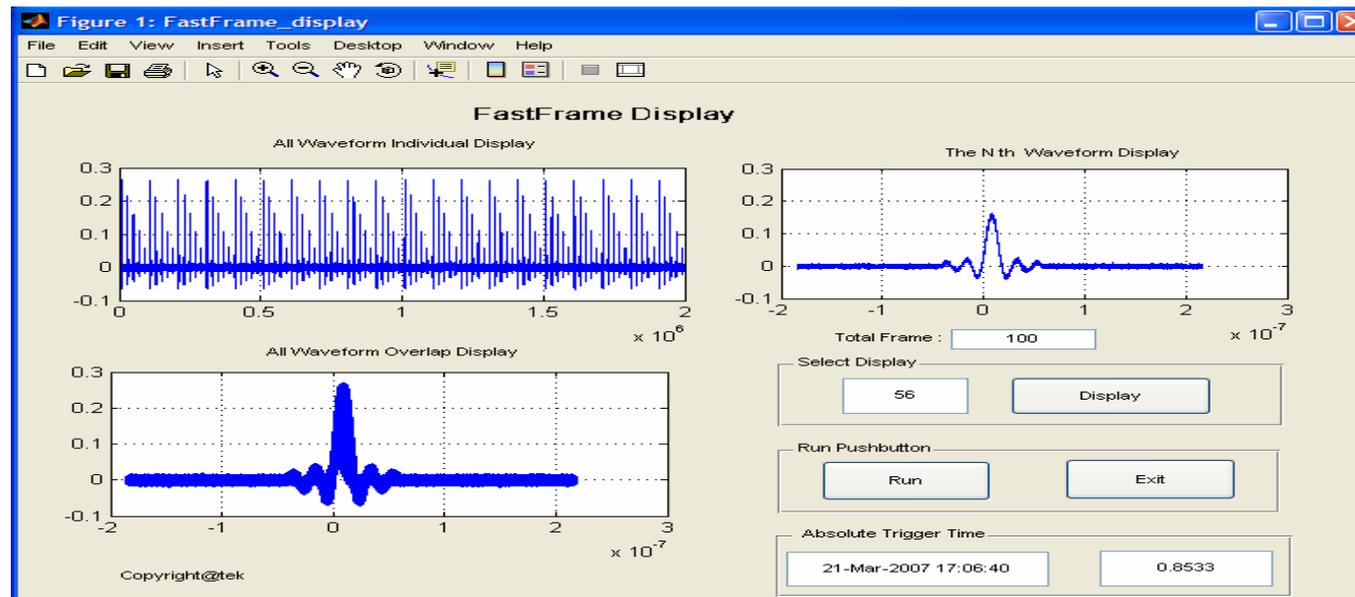
# DPO的洞察力——快帧Fastframe(续)

- ▶ 3. 轻松获得每个脉冲间隔的绝对时间和相对时间



# 快帧Fastframe优点总结

1. 高波形捕获速率提高了捕获偶发事件的能力。
2. 使用高采样率，保留了波形细节。
3. 如果脉冲重复速度小于示波器的最高触发速率，则捕获的脉冲之间没有漏失脉冲，保证有效利用记录长度存储器。
4. 可以迅速地以可视方式比较波形段，确定重叠的波形中是否会异常变化。



# 脉冲信号(低占空比)测试系统配置列表

## 1. DP07000 DSA70000平台示波器

- 20GHz, 16GHz, 12.5GHz 带宽,
- 4通道同时支持50GS/s实时采样率,
- 每通道标配10M内存, 最大支持200M内存通道
- 8GHz, 6GHz, 4GHz 带宽,
- 4通道同时支持25GS/s实时采样率
- 每通道标配10M内存, 最大支持100M内存/通道
- 3.5GHz, 2.5 GHz, 1GHz, 500 MHz 带宽,
- 4通道同时支持10 GS/s实时采样
- 标配40M内存, 最大支持400M内存
- DPO平台支持>250,000 wfms/s 波形捕获率
- 相关的一致性测试软件

## 2. 探头系统

- P7516, P7513,  
P7313, P7380, P7360, P7350, P7330, TDP1000 差分探头
- P7260, P7240, P7225, P6245, TAP2500, TAP1500,  
P6139 单端探头



# 如何自动保存/记录波形数据



# 当前测试需求

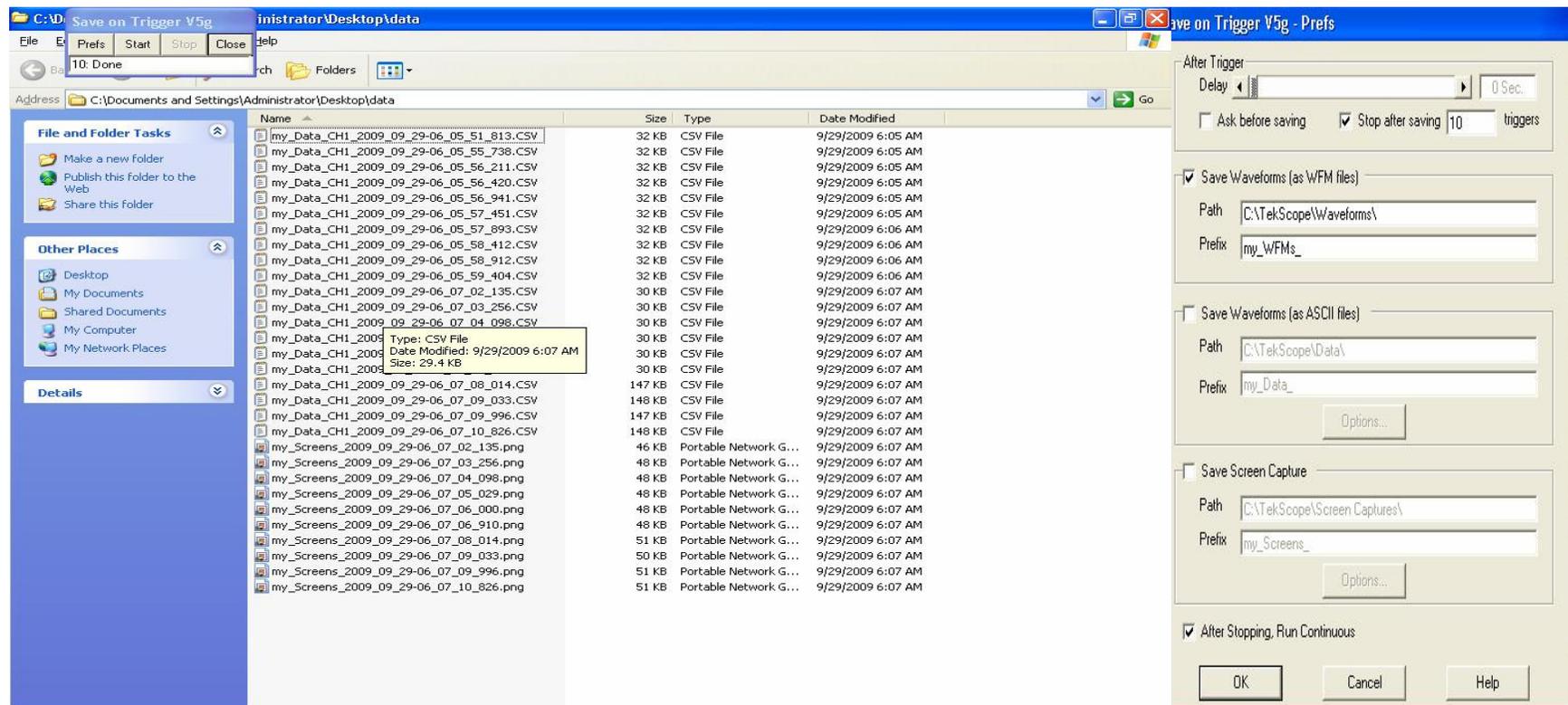
1. 波形监测并自动记录数据
2. 自动记录测量结果数据
3. 数据处理和分析
4. 长时间测试记录



# Save on Trigger 自动保存波形数据

## 1. 根据需求自动保存数据

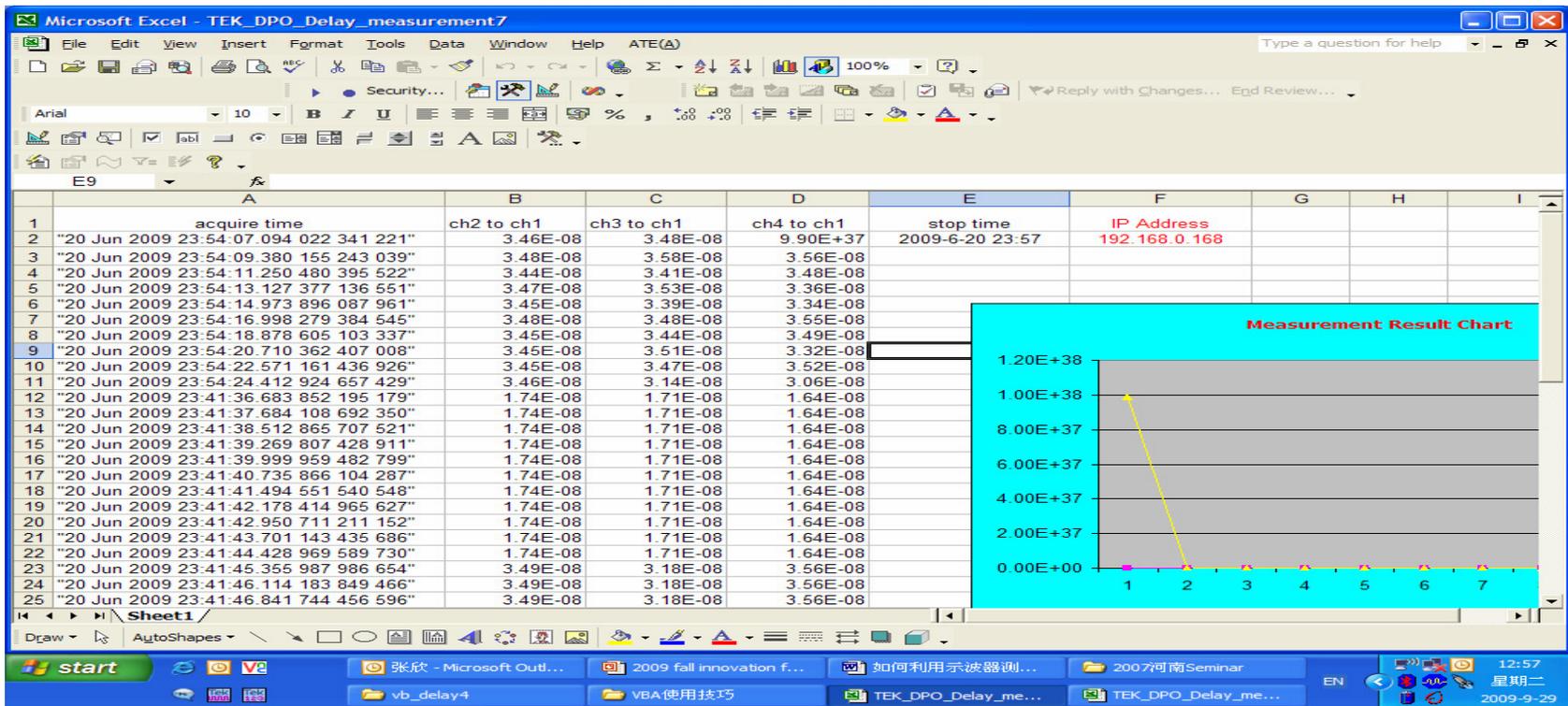
- 数据格式: wfm, dat, csv, txt。
- 图片格式: jpg, bmp, png。
- 可设置延迟时间
- 自动记录每次采集数据的绝对时间



# EXCEL Auto Link Scope 自动记录所有的测量数据

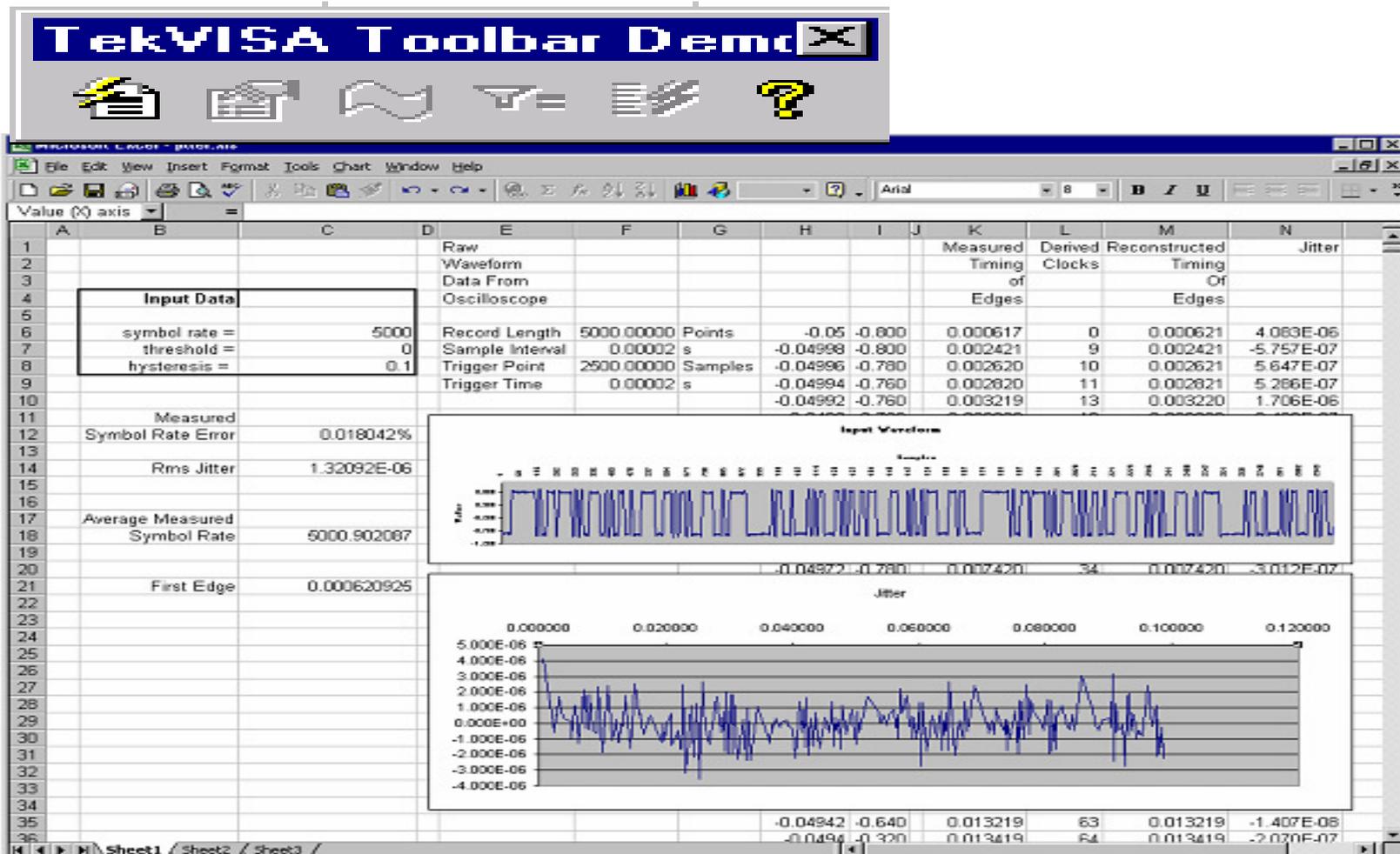
## 自动记录测量数据

- a.灵活性：根据客户的需求加入测量项目。并自动记录测量结果。
- b.有效性：自动记录每次测试的结果绝对时间。
- c.并对长时间的测量结果自动绘出测试结果的时间趋势图。



# EXCEL Toolbars 自动记录所有波形和测量数据

## ► 使用Excel对示波器数据进行分析



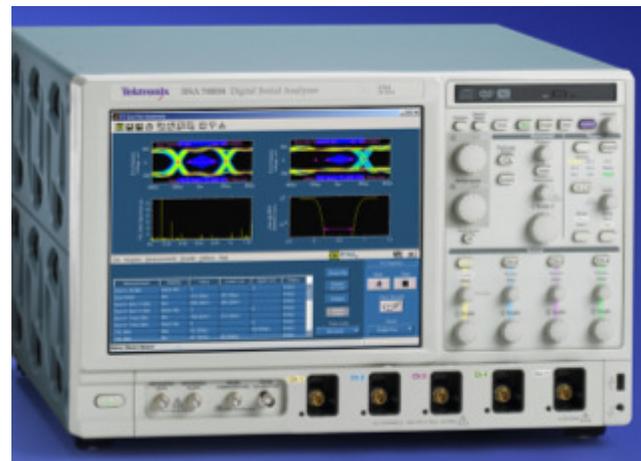
# 脉冲信号(低占空比)测试系统配置列表

## 1. DPO7000 DSA70000B平台示波器

- 20GHz, 16GHz, 12.5GHz 带宽,
- 4通道同时支持50GS/s实时采样率,
- 每通道标配10M内存, 最大支持200M内存通道
- 8GHz, 6GHz, 4GHz 带宽,
- 4通道同时支持25GS/s实时采样率
- 每通道标配10M内存, 最大支持100M内存/通道
- 3.5GHz, 2.5 GHz, 1GHz, 500 MHz 带宽,
- 4通道同时支持10 GS/s实时采样
- 标配40M内存, 最大支持400M内存
- DPO平台支持>250,000 wfms/s 波形捕获率

## 2. 探头系统

- P7516, P7513,  
P7313, P7380, P7360, P7350, P7330, TDP1000 差分探头
- P7260, P7240, P7225, P6245, TAP2500, TAP1500,  
P6139 单端探头





**Thank You For Attending!**