

# 泰克宽带信号测试系统 —数字基带/中频/射频解决方案

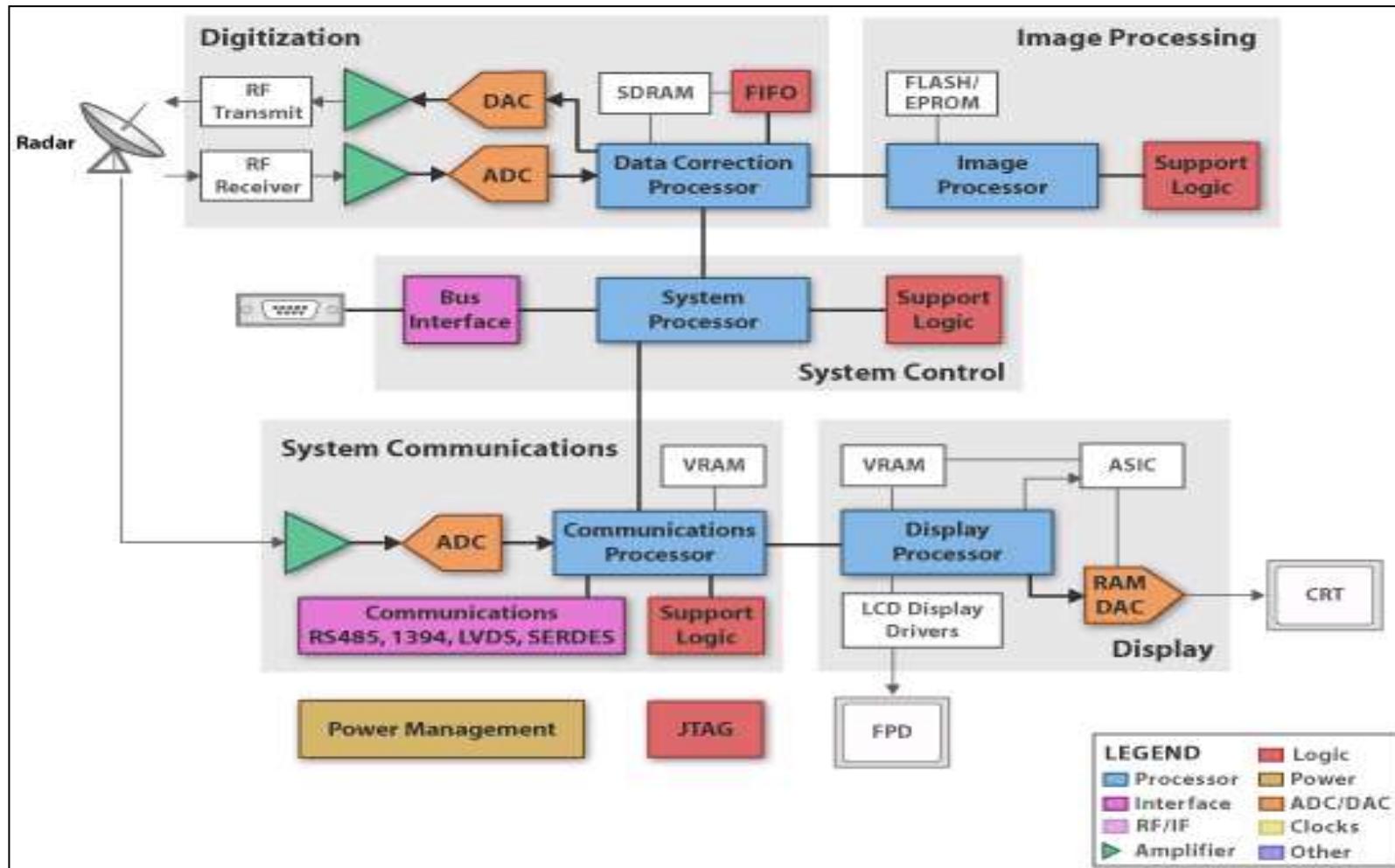


泰克应用工程师 李志斌  
[Nello.Li@tektronix.com](mailto:Nello.Li@tektronix.com)  
18501605932

# 提纲

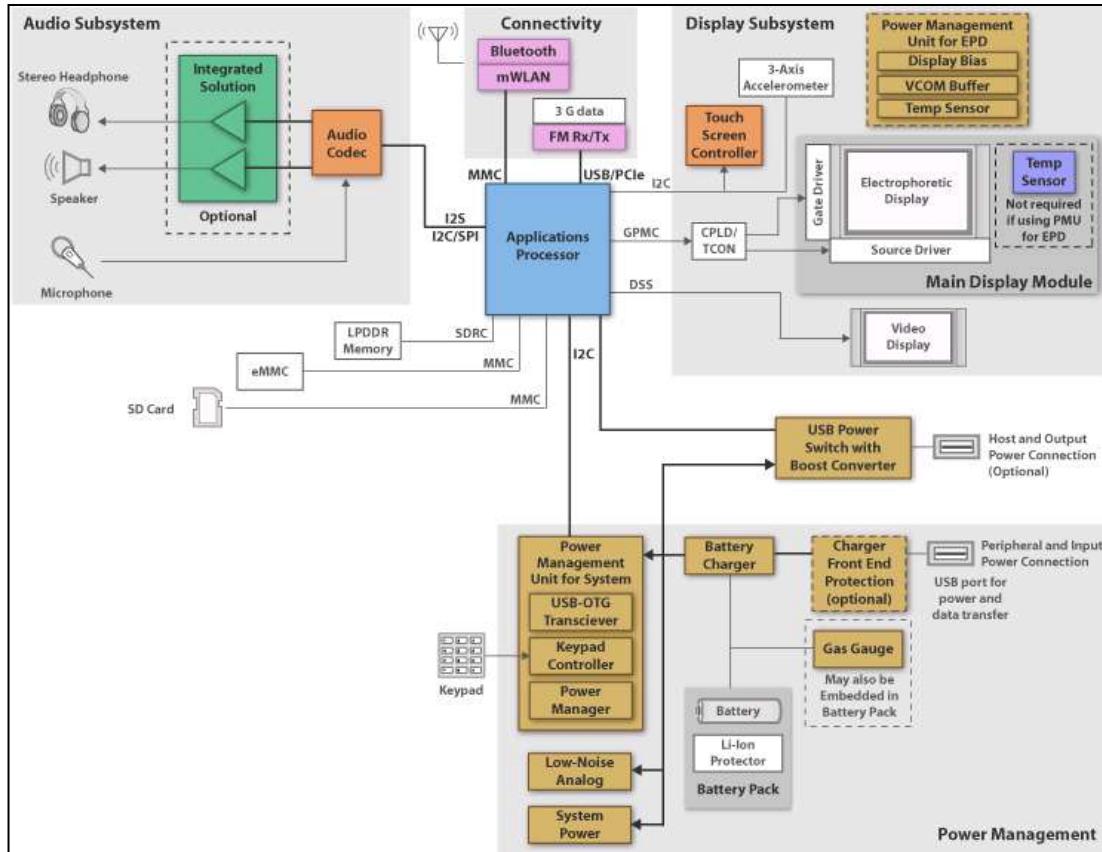
- 宽带射频系统的测试挑战
- 为宽带系统测试提供所需带宽性能
- 将“实时分析”的方法带入宽带系统测试
- 基带和数字部分——和射频中频部分共享测试解决方案
- 小结

# 复杂系统——国家研究项目——雷达与声纳



德州仪器——雷达的参考设计: <http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/119.html>

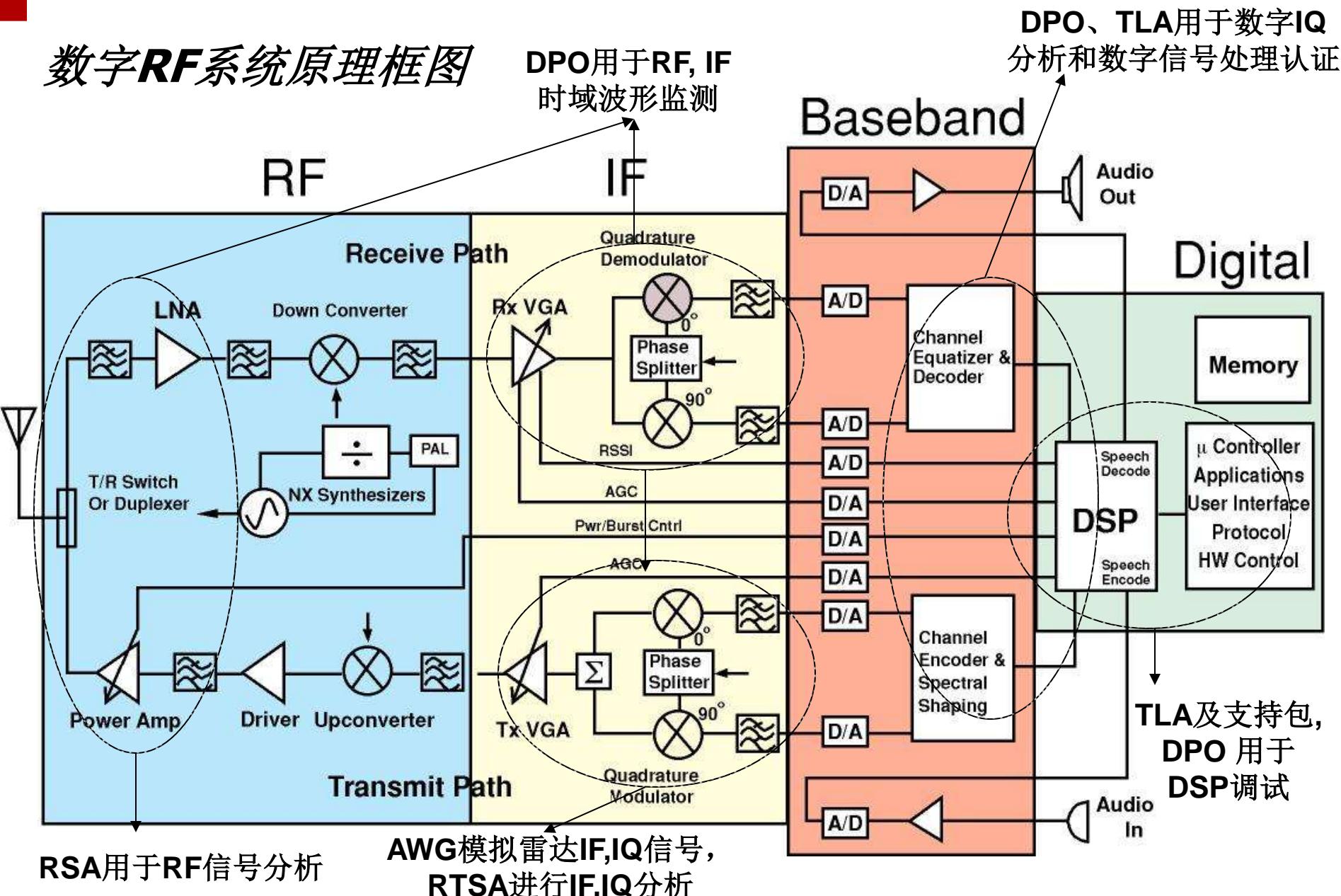
# 嵌入式系统——消费电子——电子书阅读器



- 串行总线
  - USB2.0
  - Ethernet
  - I2C & I2S
  - SPI
  - DDR & LPDDR
  - SDIO & MMC
  - PCIe
  - TCON (LVDS/DP)
- ADC/DAC/Codec编解码器
- Tx/Rx & WLAN
- 电池与开关电源管理

德州仪器——电子书阅读器的参考设计：<http://focus.ti.com/docs/solution/folders/print/697.html>

# 数字RF系统原理框图



# 宽带无线RF系统的测试挑战

- 带宽（分析带宽）
- 严格的时序特性
  - 需要把时域分析和频域、调制域分析结合起来系统的
- 瞬间失效故障定位
- 数字部分测试
  - 高速串行信号的大量引入带来信号完整性测试以及误码率测试的需求

# 宽带无线RF系统的测试挑战

- 带宽（分析带宽）：足够的系统带宽，发生和接受
- 严格的时序特性：强大的多域联动分析能力
  - 需要把时域分析和频域、调制域分析结合起来系统的
- 瞬间失效故障定位：良好的实时监测能力和捕获能力
- 数字部分测试：方便快捷的专业工具
  - 高速串行信号的大量引入带来信号完整性测试以及误码率测试的需求

# 足够宽带的激励，是测试中的棘手问题

- 当前测试人员面临的宽带信号
  - 超宽带系统，如SAR，可能需要带宽超过3GHz
  - 跳频系统，可能虽然每个跳频点的带宽较窄，但是成百上千个工作频点可以拼接成超宽带系统
  - 复杂电磁环境，多种无线信号同时模拟
  - 高速数字信号，特别是带有压力的高速串行信号
- 传统解决方案的限制
  - 宽带调制器：通常在2GHz以内，并且需要宽带的基带信号源，频响可控能力弱
  - 跳频源：通常使用锁相环或开关等方式实现，稳定时间较长，快速跳频无法实现；如果使用调制器的方法，则只能在基带信号上实现，通道模拟能力较差；
  - 多台专用仪器混搭，调试麻烦：功能单一，价格贵，性价比较差
  - 脉冲码型发生器（数字信号）：压力测试能力非常有限

# AWG70000系列任意波形发生器

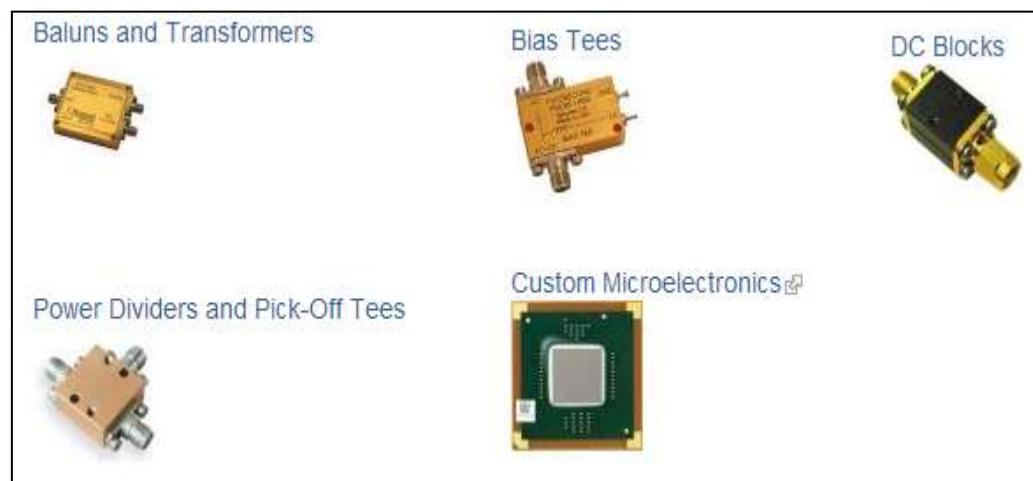


	AWG70001A	AWG70002A
差分通道数	1	2
采样率	1.5 KS/s to 50 GS/s	1.5 KS/s to 8G/16G/ 25 GS/s
最高模拟通道输出频率	20.0 GHz	10.0 GHz
无杂散动态范围(SFDR)	Up to -80 dBc	Up to -80 dBc
DAC分辨率	10 bits 可变	10 bits 可变
存储深度 (每通道)	2 GSamples (std)	2 GSamples (std)
	16 GSamples (opt)	8 GSamples (opt)
模拟带宽	15 GHz	13.5 GHz
上升时间	27 ps	22 ps
输出幅度	最高可到11V*	最高可到11V*

\* 配置PSPL放大器选件

# AWG附件by PSPL公司: PicoSecond Pulse Labs

- PSPL的码型发生器
  - 40Gbps高速脉冲发生器
  - 40Gbps误码仪
  - 四通道, 抖动可注入
- 各种电子元器件: 宽带放大器、Balun、功分器、衰减器、整形器、滤波器等归入泰克产品线



# AWG70000 配合放大器使用示例：9V的多电平快沿信号

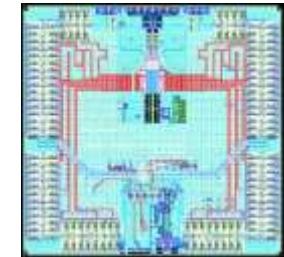


# 技术源动力

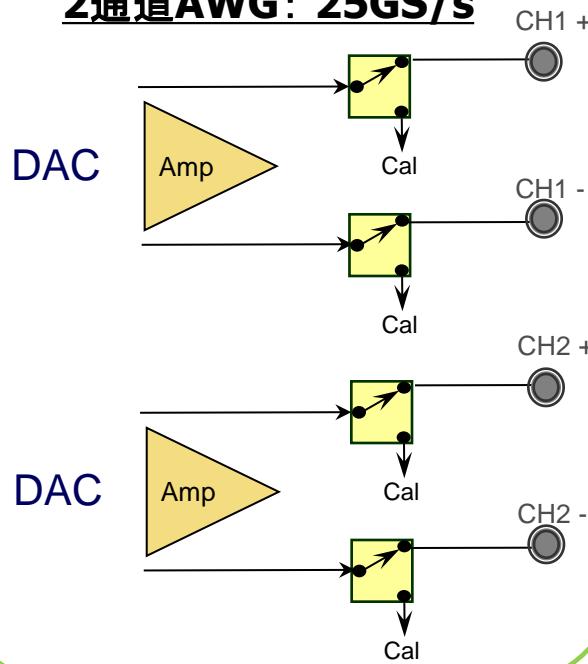
## 25 GS/s数模转换器(DAC)

由泰克元器件产品事业部自主研发

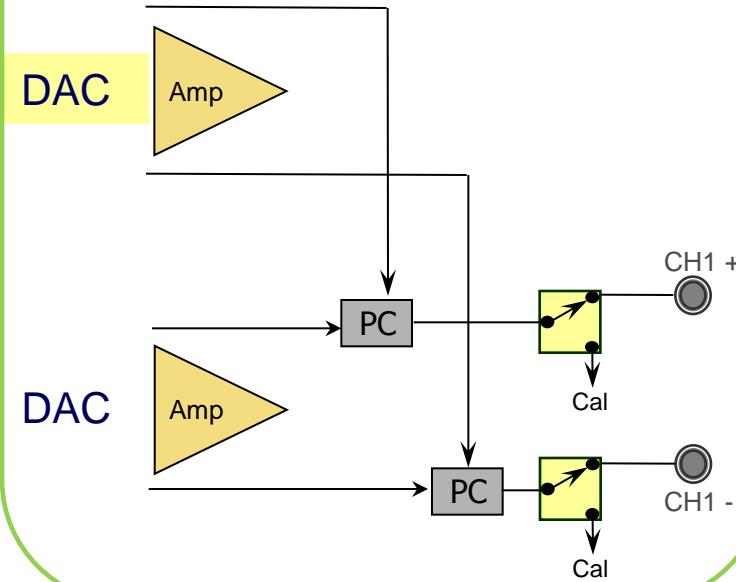
- 全球速度最快、最准确的10bit DAC
- ASIC设计采用IBM最新的SiGe工艺
- 支持更高的集成度，在满足先进功能要求的同时降低系统成本、尺寸及功耗要求



### 2通道AWG: 25GS/s



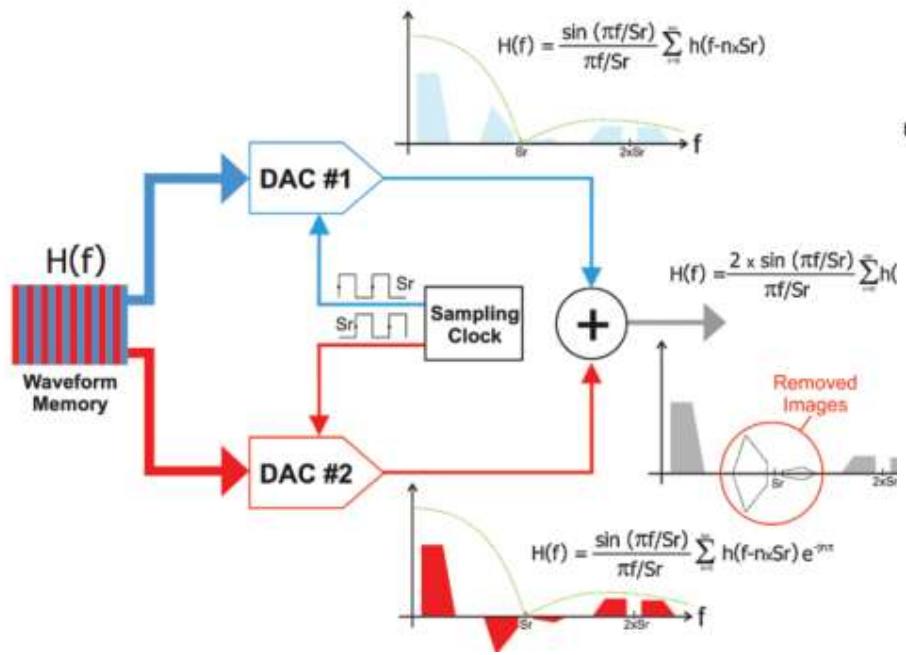
### 1通道AWG: 50GS/s



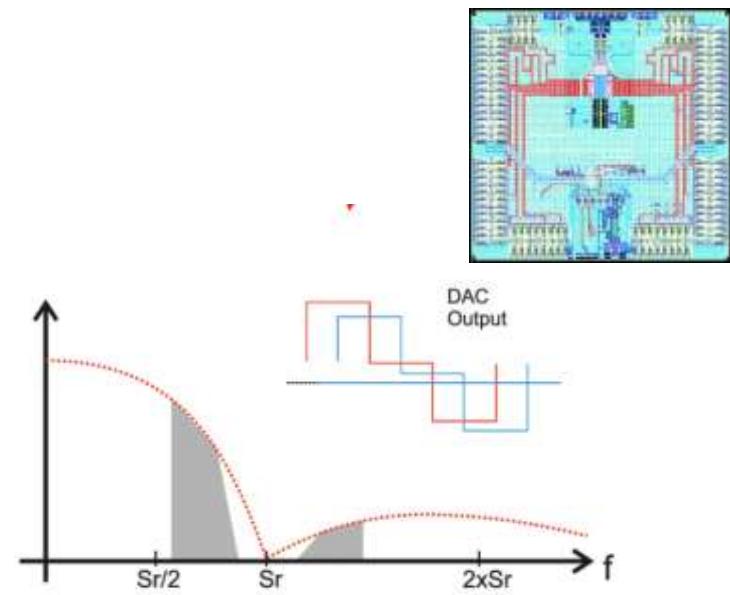
# 技术源动力

## 25 GS/s数模转换器(DAC)

a)



b)

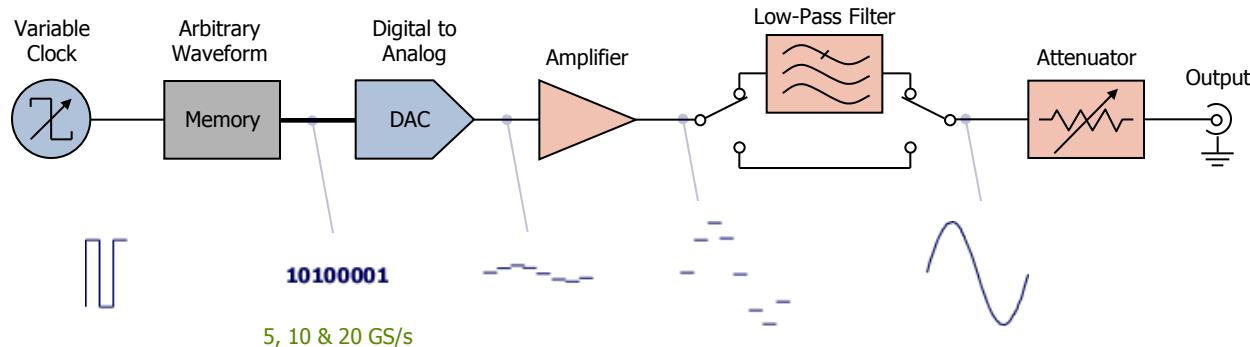


- AWG70000中采用的Interleaving-DACs可以将一通道的样点精确时延，从而有效地将系统采样率加倍至50GS/s，这样分布于二次Nyquist频带内的镜像（SR/2到SR）可以被消除掉，从而提供任何从DC开始到SR频段的信号

# AWG直接合成



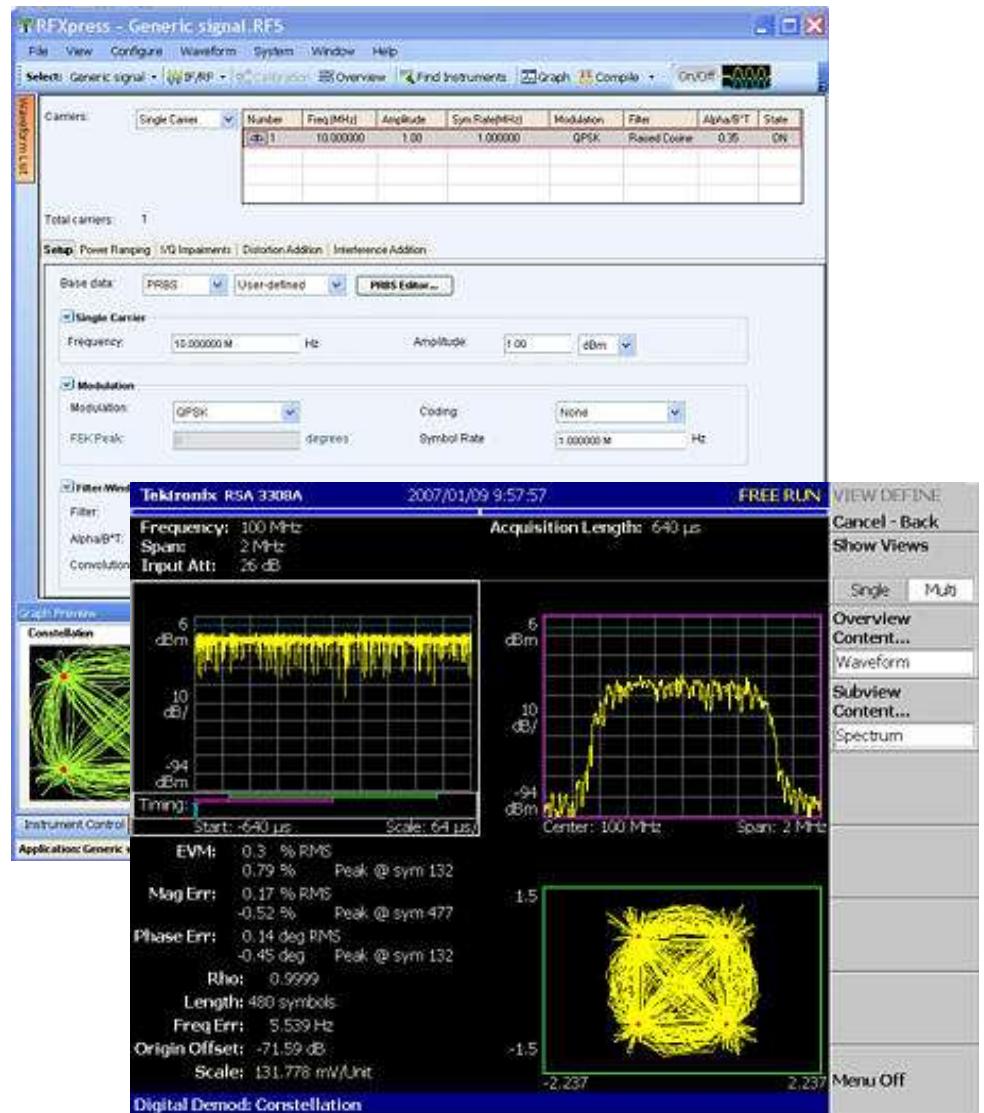
AWG Simplified Block Diagram



- 可变的采样时钟，无论使用多少内存深度
- 数字化的信号被转化为模拟信号，滤波，输出
- 高采样率和精度保证了信号合成质量

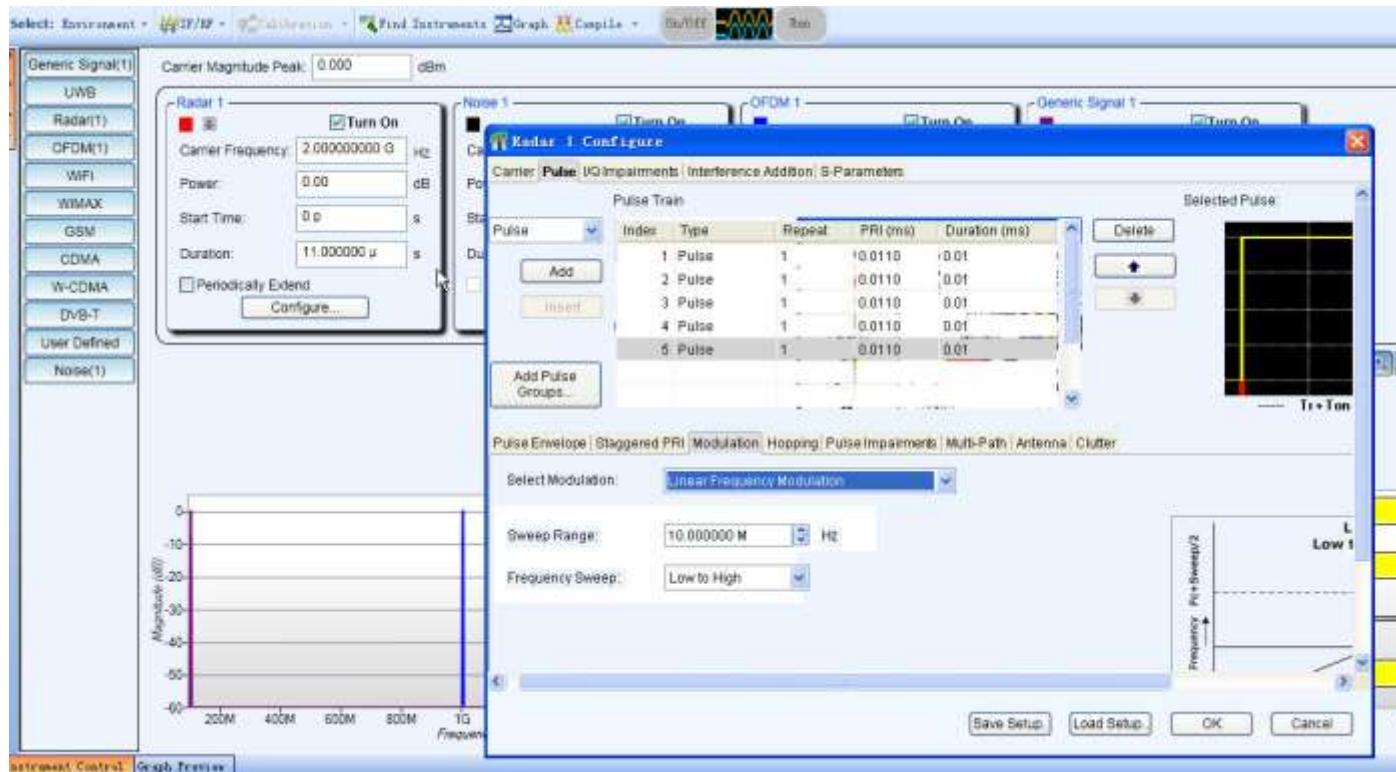
# RFXpress – 将信号生成变成一件简单的工作

- ▶ 数字化地合成调制基带和中频信号
- ▶ 支持广泛的调制模式，并且支持符号图（表）定义——该软件允许你定义自己的调制模式。



# 复杂电磁环境中的雷达信号产生模块

- 多部雷达
- 可设置同时到达
- 雷达侦察接收机的验证工具



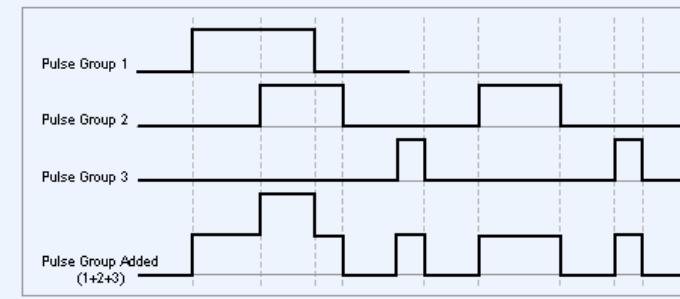
脉冲 →

脉冲组 →

脉冲序列

Check the pulse groups to be added in time:

Index	Type	Repeat	PRI (ms)	Duration (ms)	Check to add pulse
1	Pulse	1	0.1001	0.10	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Pulse	10	0.2000	2.00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Pulse	5	0.0999	0.50	<input checked="" type="checkbox"/>

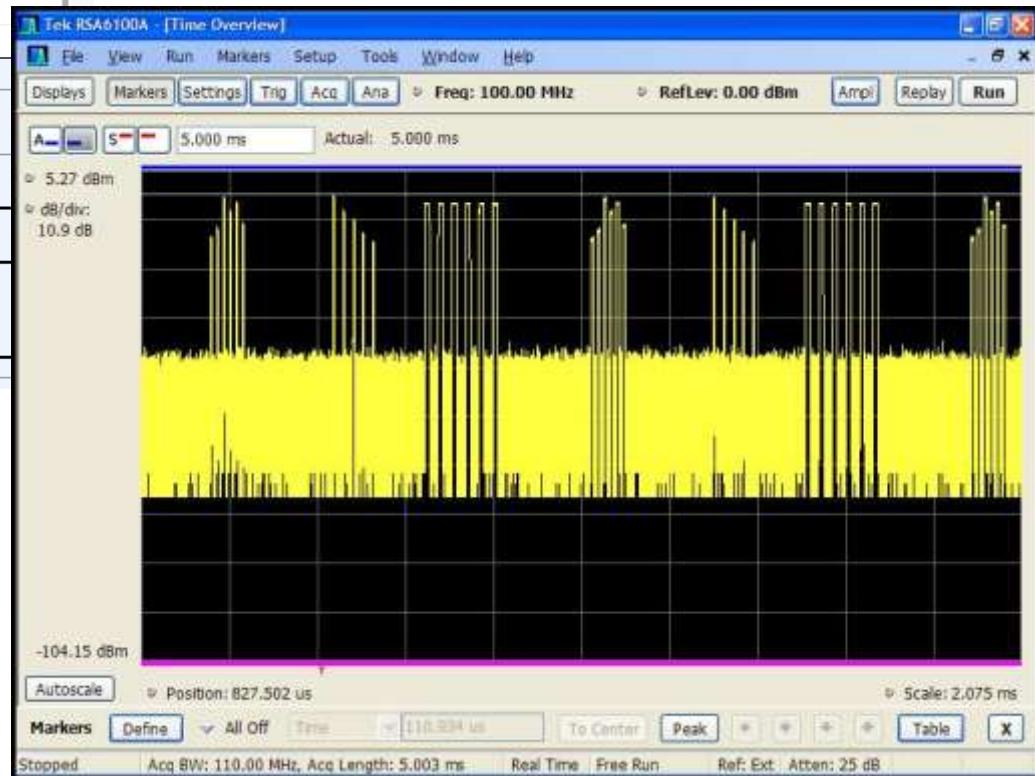


- 可以定义全部脉冲的特性参数

- 创建多个脉冲组

- 脉冲组中有脉冲组

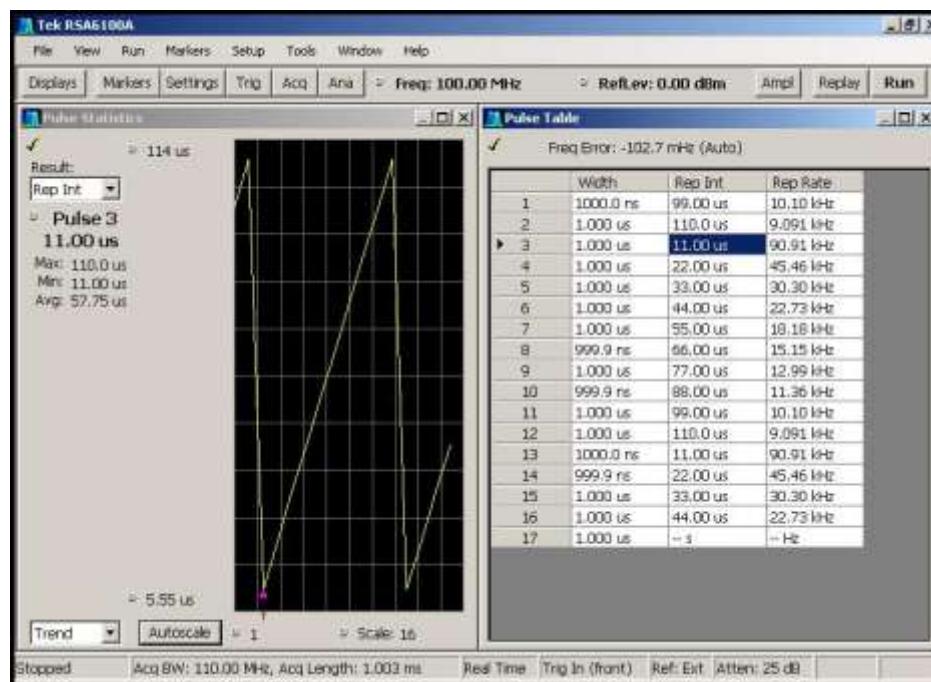
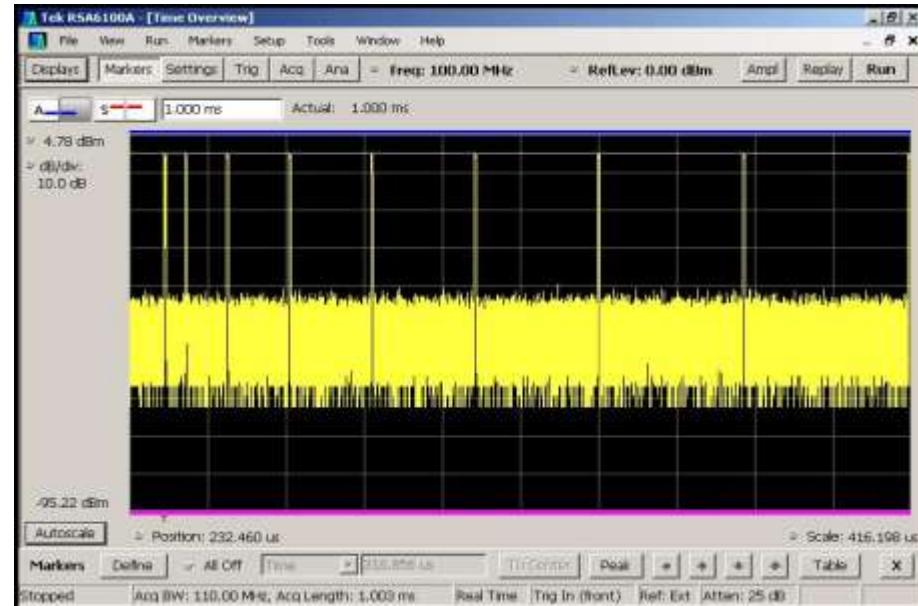
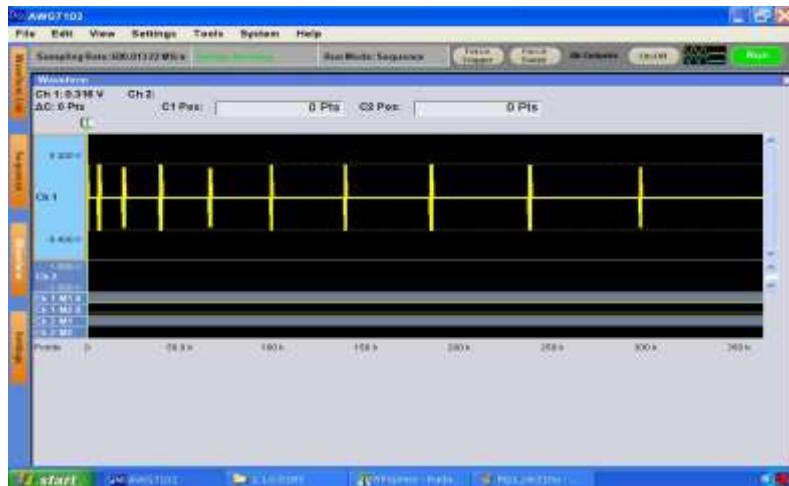
- 可以确定载波的相参性(连续相位)



- 定义脉冲组与脉冲组之间的幅度关系

- 使用频率偏移创造多普勒效应

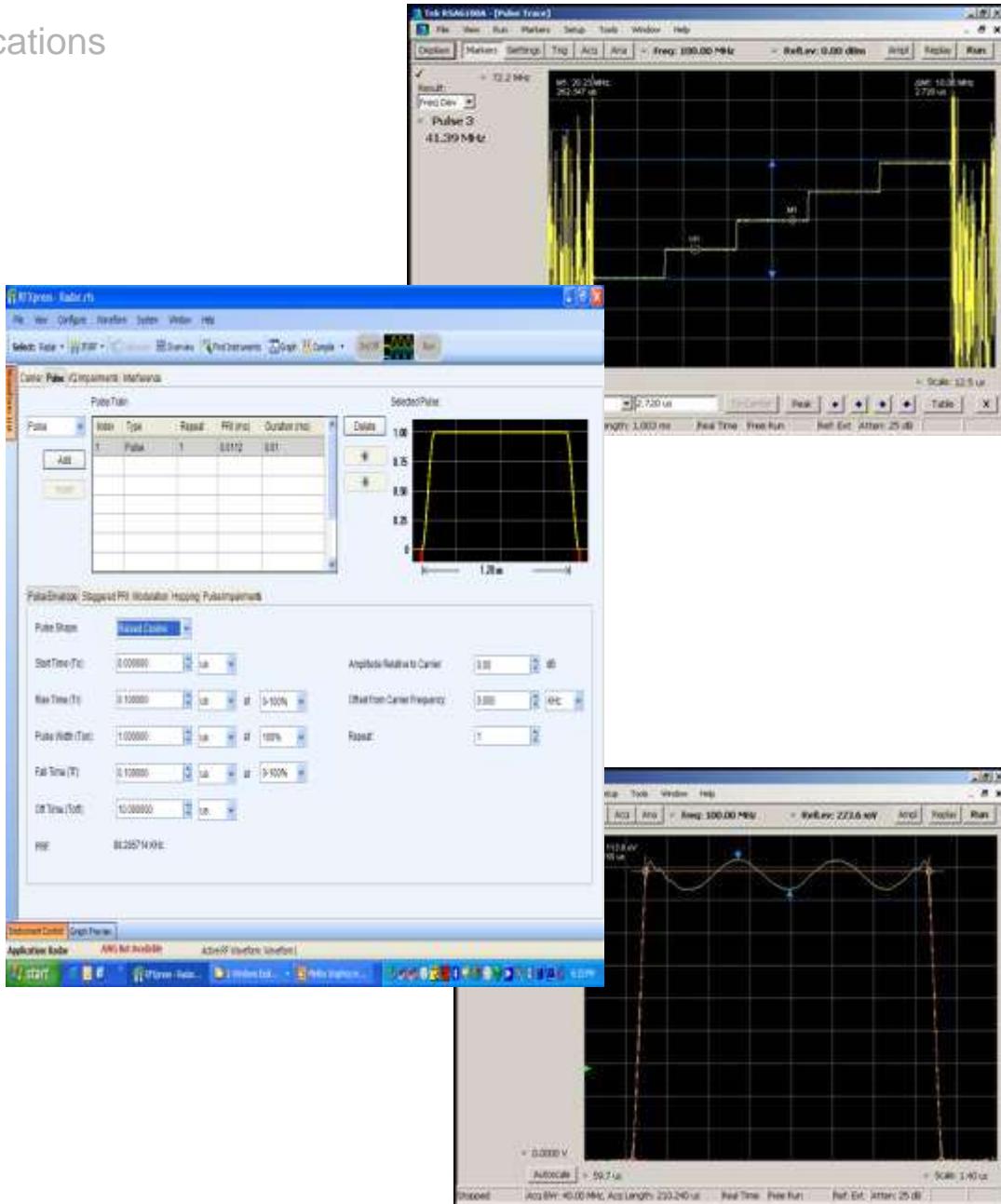
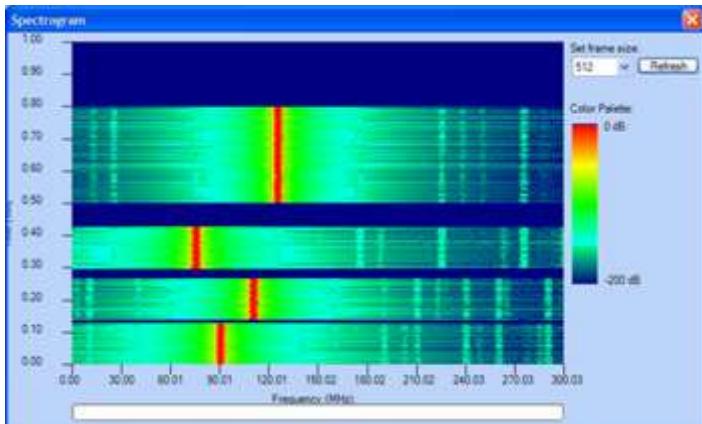
# 参差的PRI



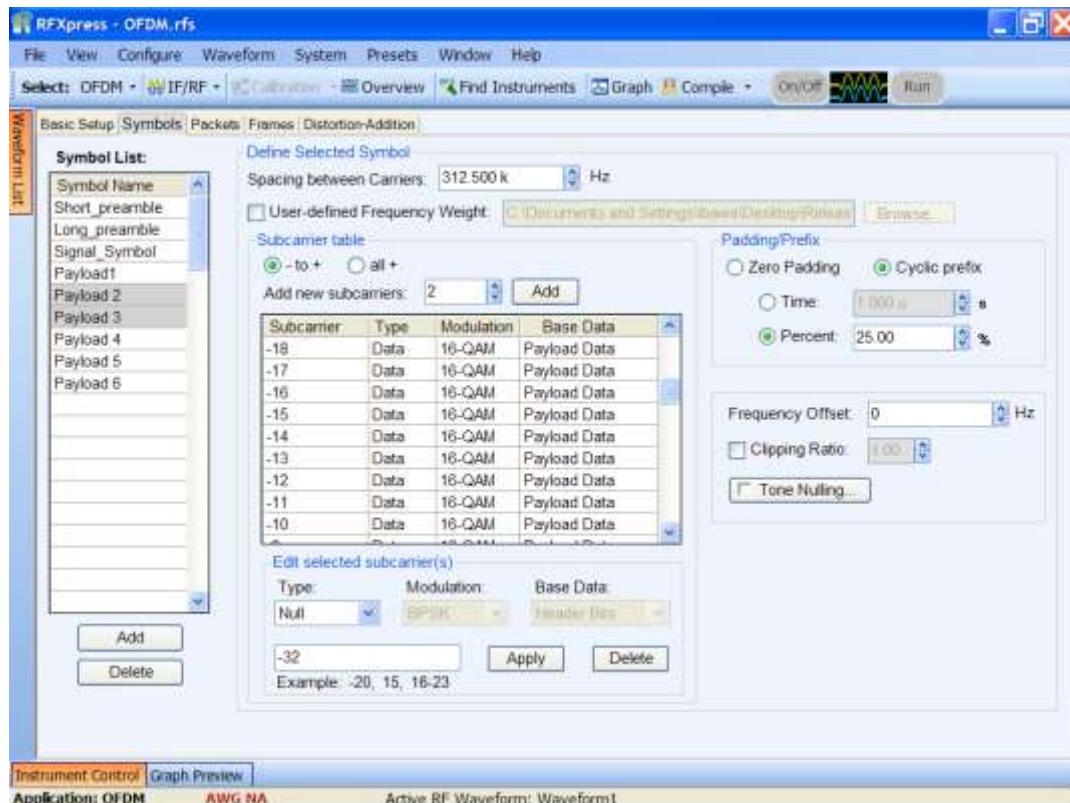
**Tektronix**

# 创建复杂的雷达信号

- ▶ 最简便的方式创建雷达波形
- 脉冲, 脉冲序列, 脉冲组
- ▶ 支持多种不同的调制方案（脉压方式）, 包括
  - LFM, Barker and Poly phase Codes, Step FM, Non-Linear FM, User Defined FM
- ▶ 加入信号损伤
  - 纹波、跌落、过冲等



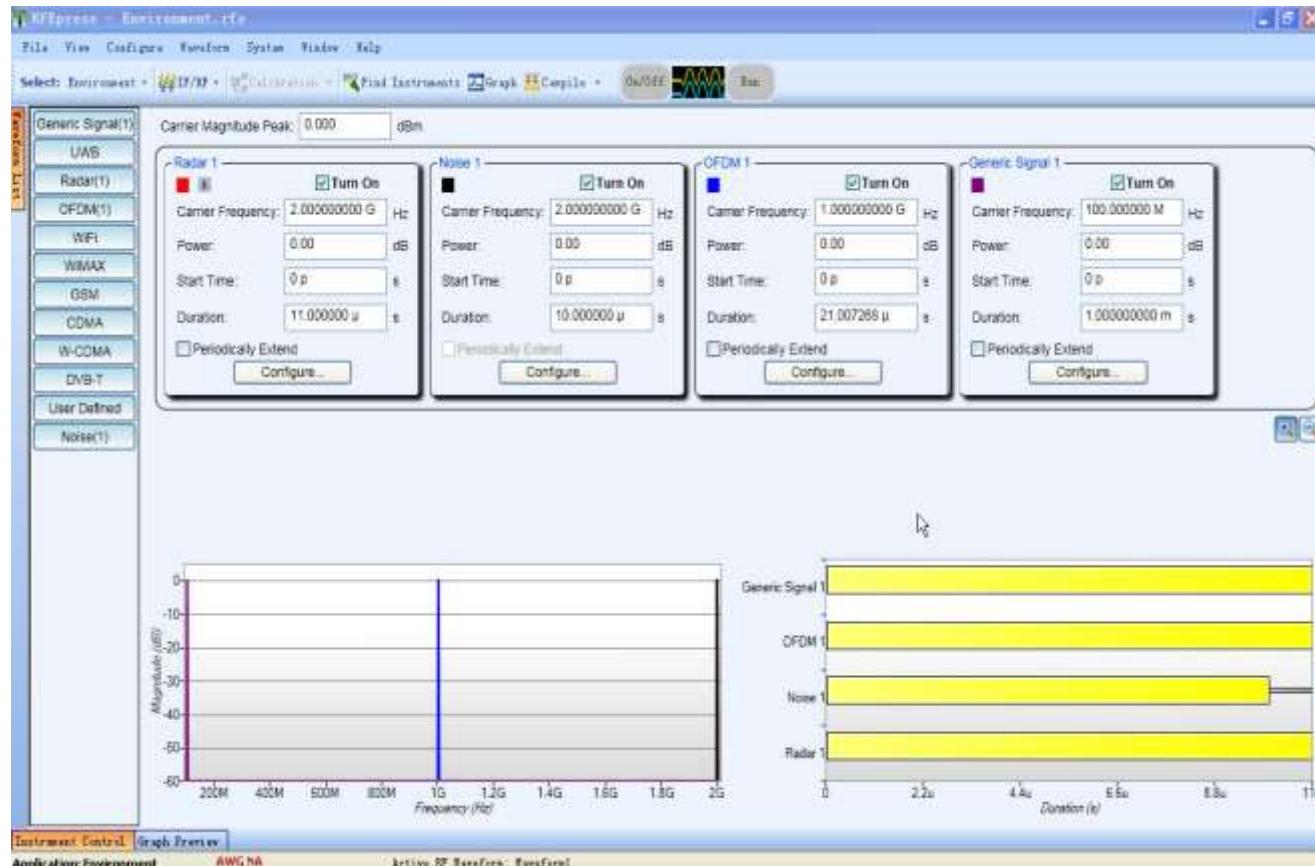
# 创建OFDM信号



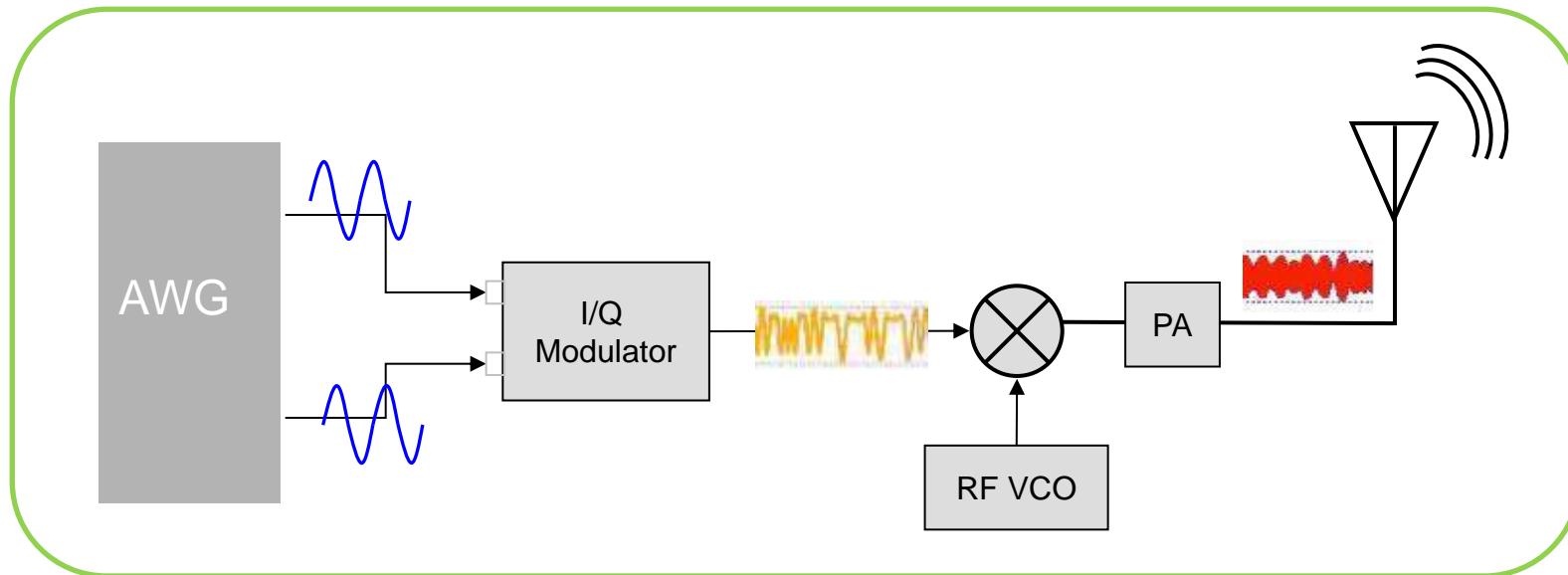
- ▶ 可设置OFDM包含的所有参数
- ▶ 从基本数据、符号、包到帧，完整创建OFDM信号
- ▶ 加入损伤，比如相噪、多径或量化误差
- ▶ 简便地定义跳频和带限噪声
- ▶ 预设了WiFi和WiMax标准波形

# 复杂电磁环境产生界面

- 通用信号（包括数字调制，跳频等）
- UWB
- 雷达
- OFDM
- WIFI
- Wimax
- GSM
- CDMA
- W-CDMA
- DVB-T
- 自定义信号（根据数据文件调入）
- 噪声



## 应用实例1: 高动态范围IF信号, 用于调制器



- CH1和CH2各自输出I和Q信号, 然后给调制器调制和变频到RF频带
- 应用:
  - 高速过采样可以产生高动态范围中频信号, 用于接收机测试
- 方案:
  - 利用RFX或者第三方软件 (如matlab等) 生成复杂信号
  - 生成两路基带 I/Q信号给高阶调制器使用
- 缺点: 需要额外硬件、I/Q之间skew/power imbalance需要考虑

# AWG70000A Series

## 应用实例2: RF射频输出

2 CHANNEL AWG



CH1: I Signal

CH1: Q Signal



RF Signal

1 CHANNEL AWG



CH1: IF Signal



RF Signal

HIGH SPEED 1 CHANNEL AWG



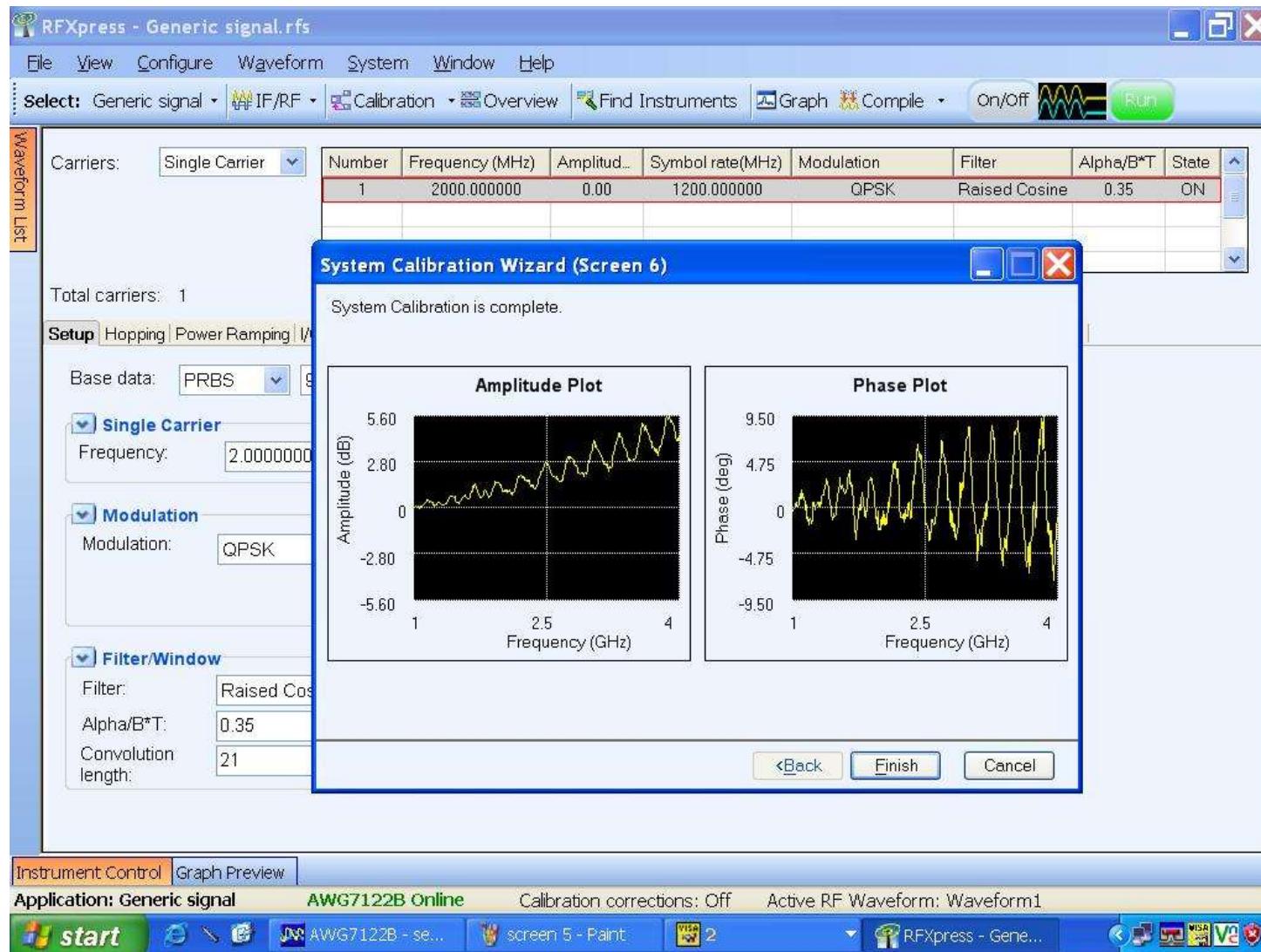
CH1: RF Signal

20G波段以内

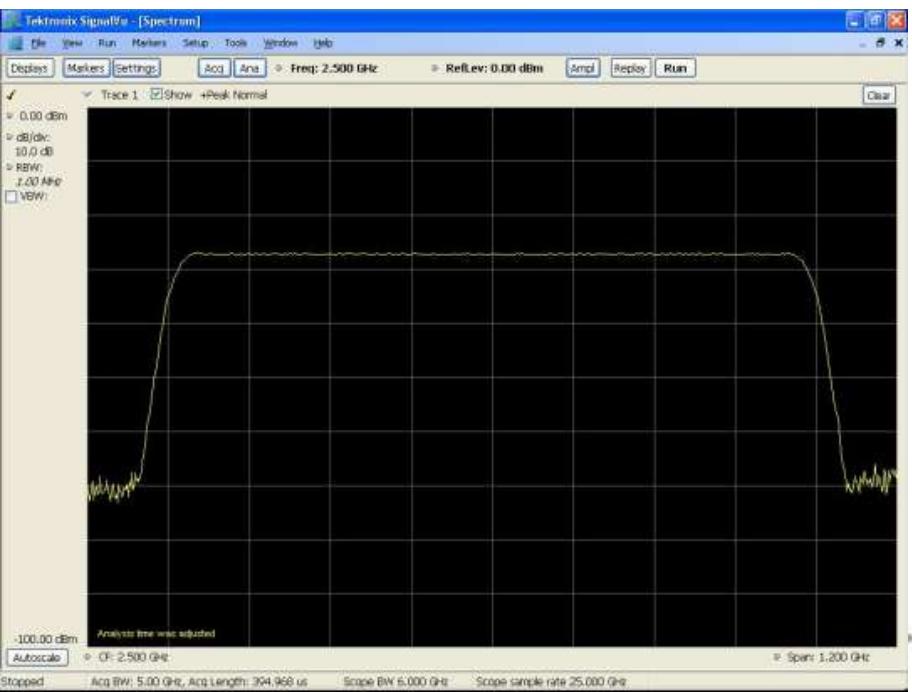
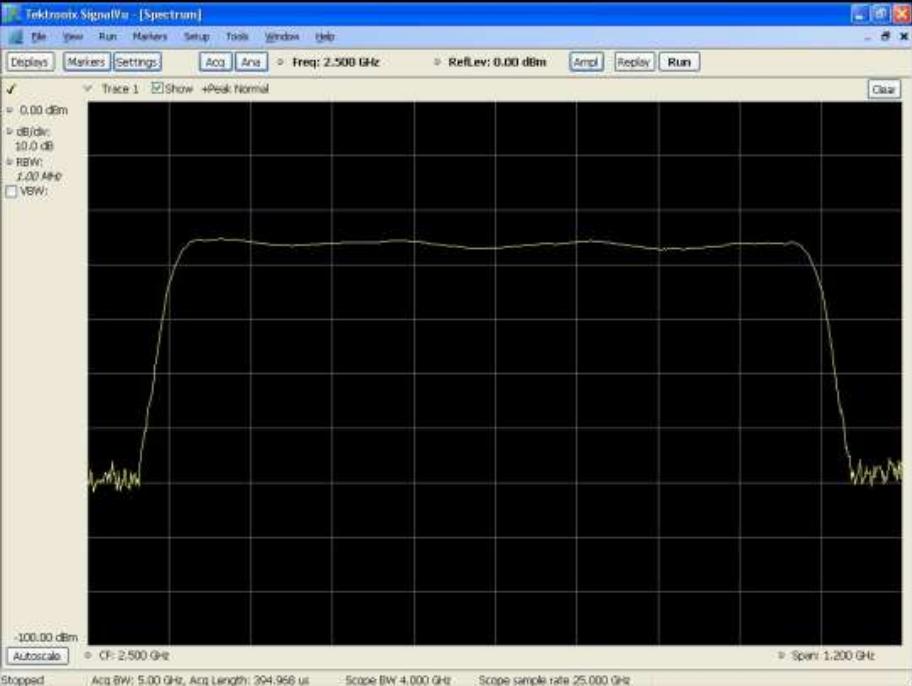
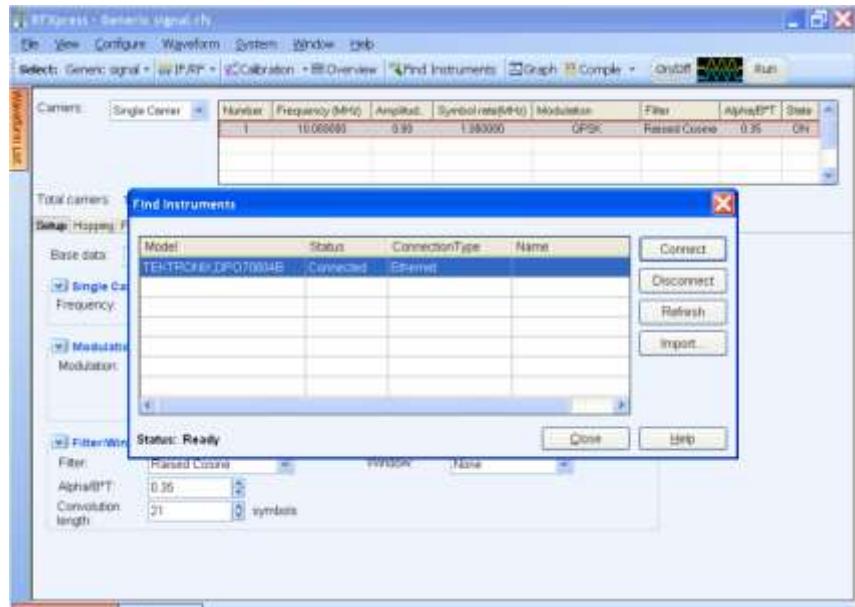
# 完善简洁的预失真技术

- 任何宽带/超宽带信号源，其频响都或多或少有不完美的地方
- 宽带/超宽带任意波形发生器在宽带应用中，都需要预失真（校准）
- 基于直接数字合成的仪器，通常预失真都是使用一个**FIR**滤波器
  - **FIR**滤波器是和采样率相关的算法
- **RFXpress**支持超宽带校准——只需要一台宽带接收机即可，可选择校准信号或校准镜频
  - 支持射频校准——用户指定校准频率范围
  - 支持中频校准——同时校准中频和混频器频响
  - 基带校准——同时校准调制器和基带频响
  - 实测校准结果：± 0.5dB的平坦度

# 便捷的预失真校准过程

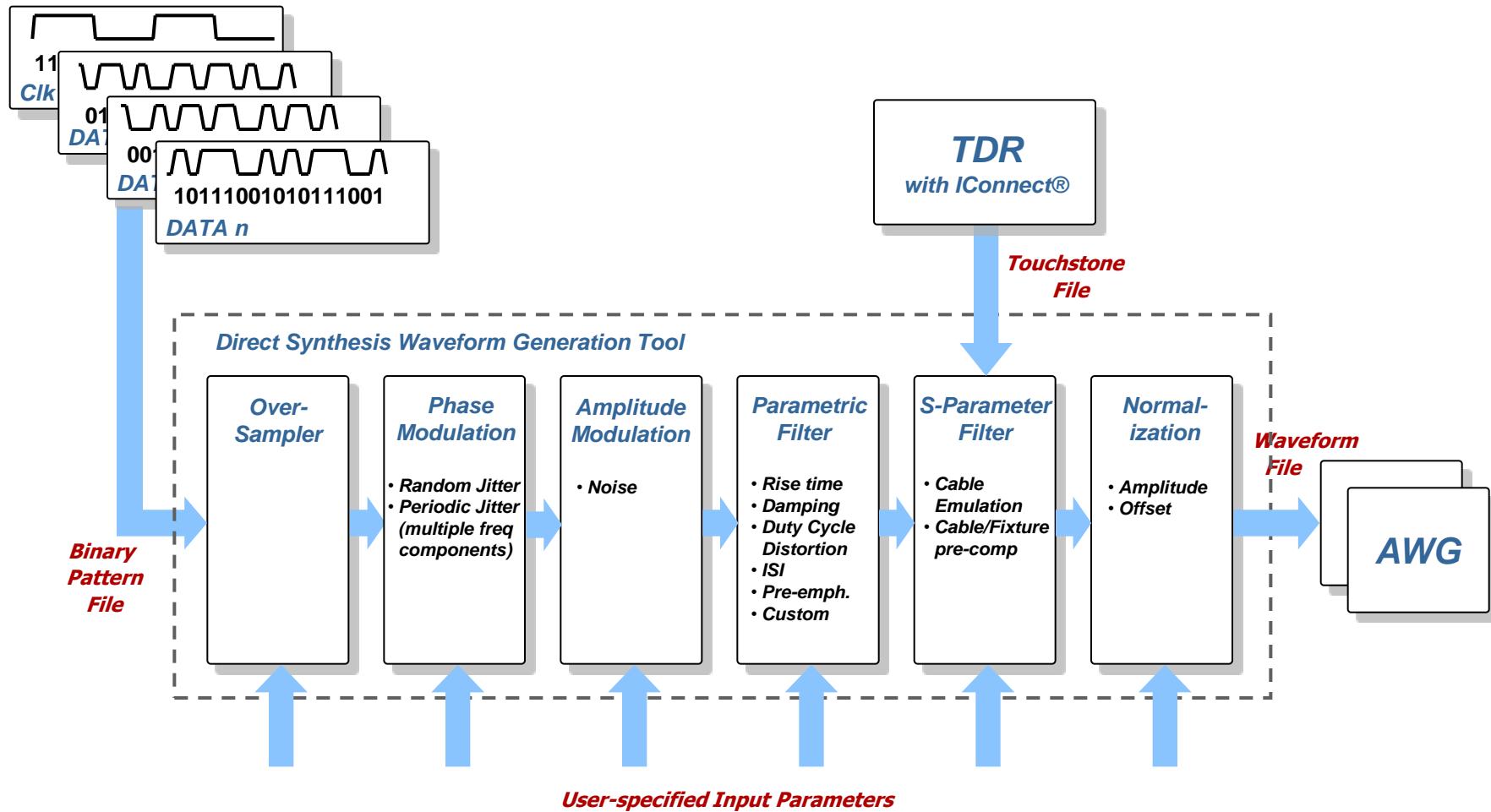


# 校准



# AWG在高速串行数字信号中的应用

## Digital Patterns



# 使用SerialXpress®直接合成串行数据波形

## Standard Base Patterns

- ▶ SATA, SAS
- ▶ HDMI
- ▶ DisplayPort
- ▶ PCIe
- ▶ Fiber Channel

## Signal Impairments

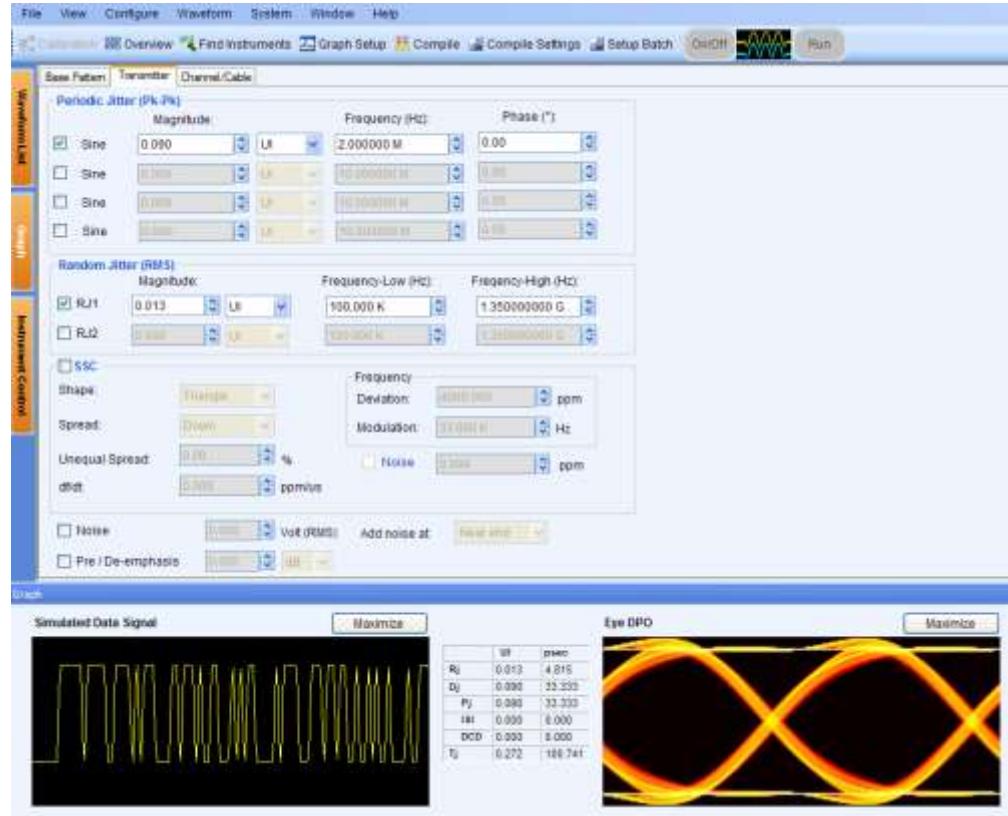
- ▶  $R_j$ ,  $P_j$
- ▶ Duty Cycle Dist
- ▶ SSC

## Waveform parameters

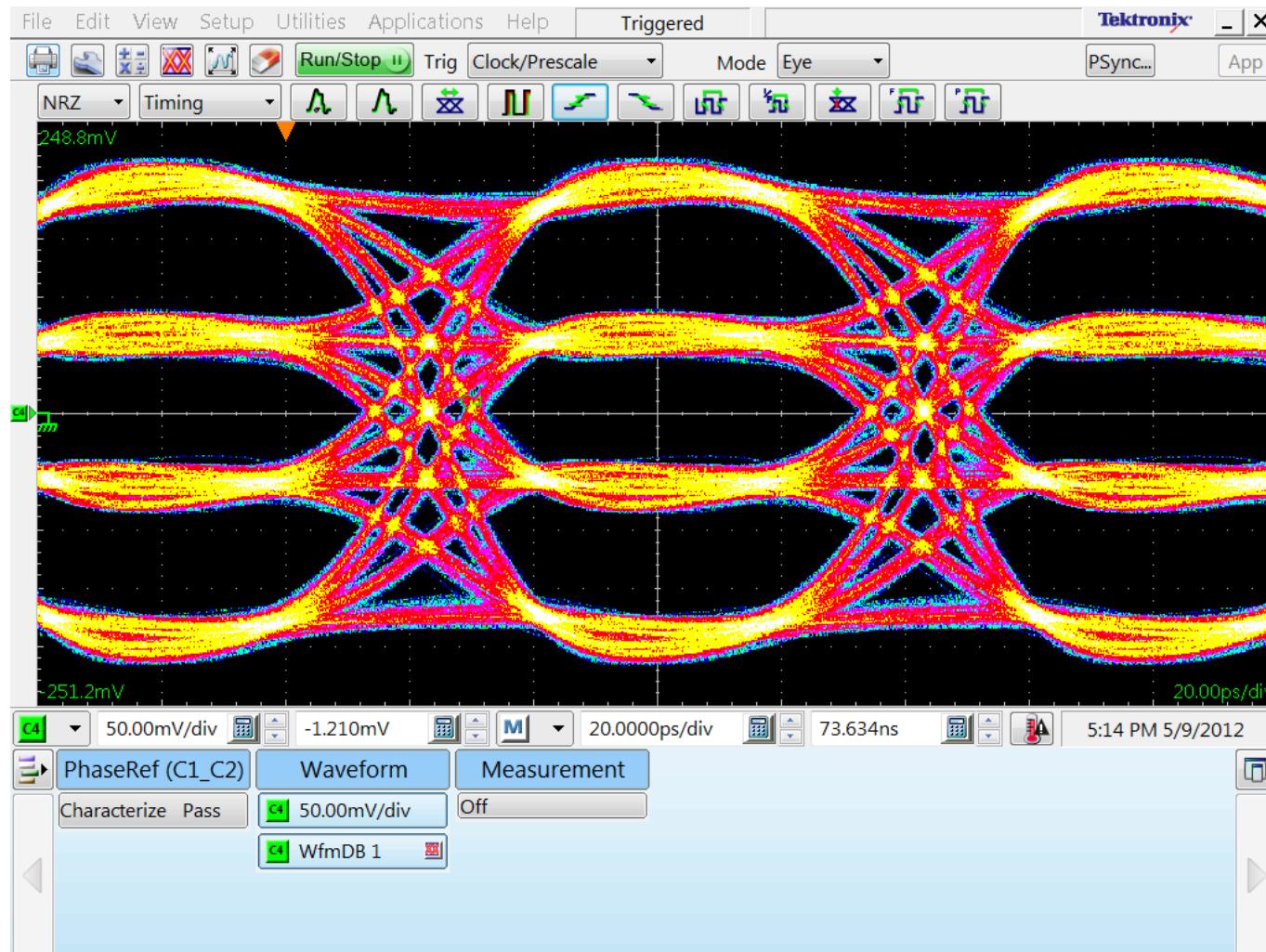
- ▶ Pre/de-emphasis
- ▶ Rise/fall time
- ▶ Damping

## Cable Emulation

- ▶ ISI
- ▶ S-Parameter import
- ▶ Cable/fixture comp.



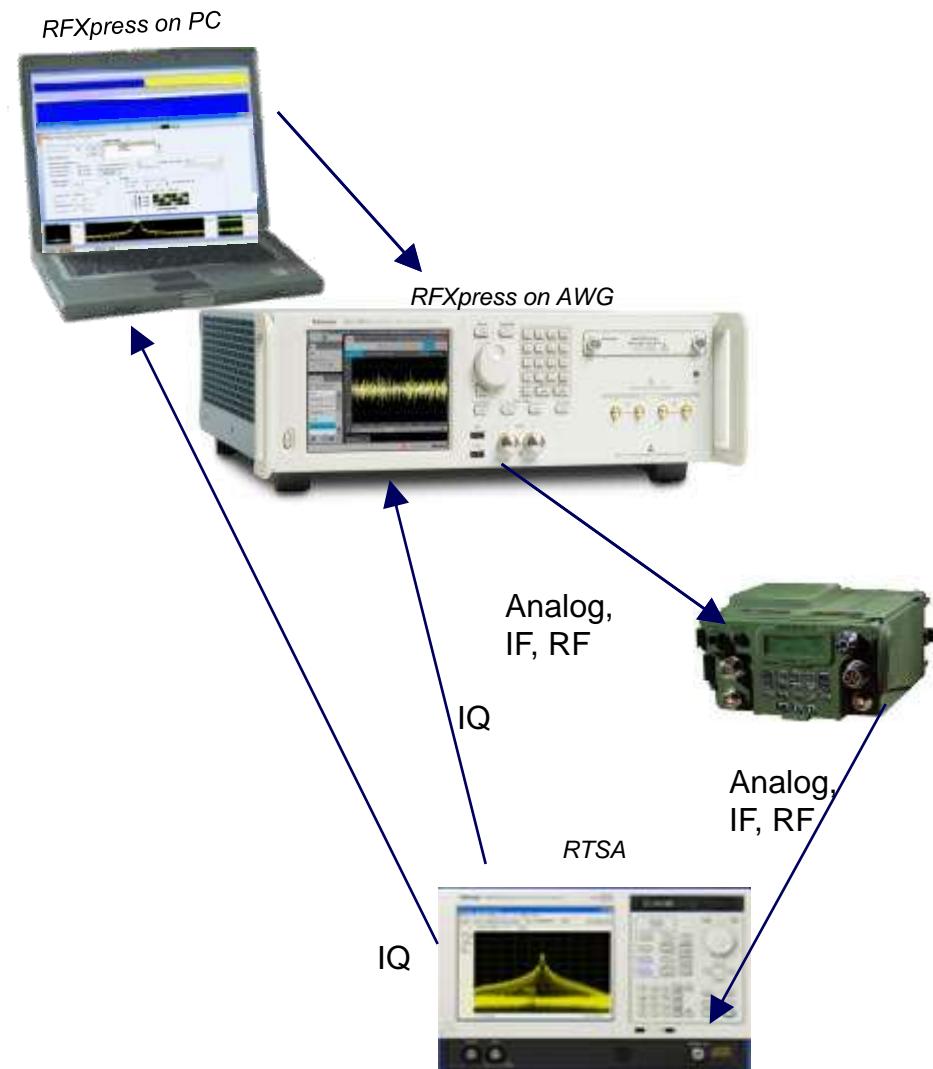
# AWG70000系列：适用于高速应用的高数据率和多电平



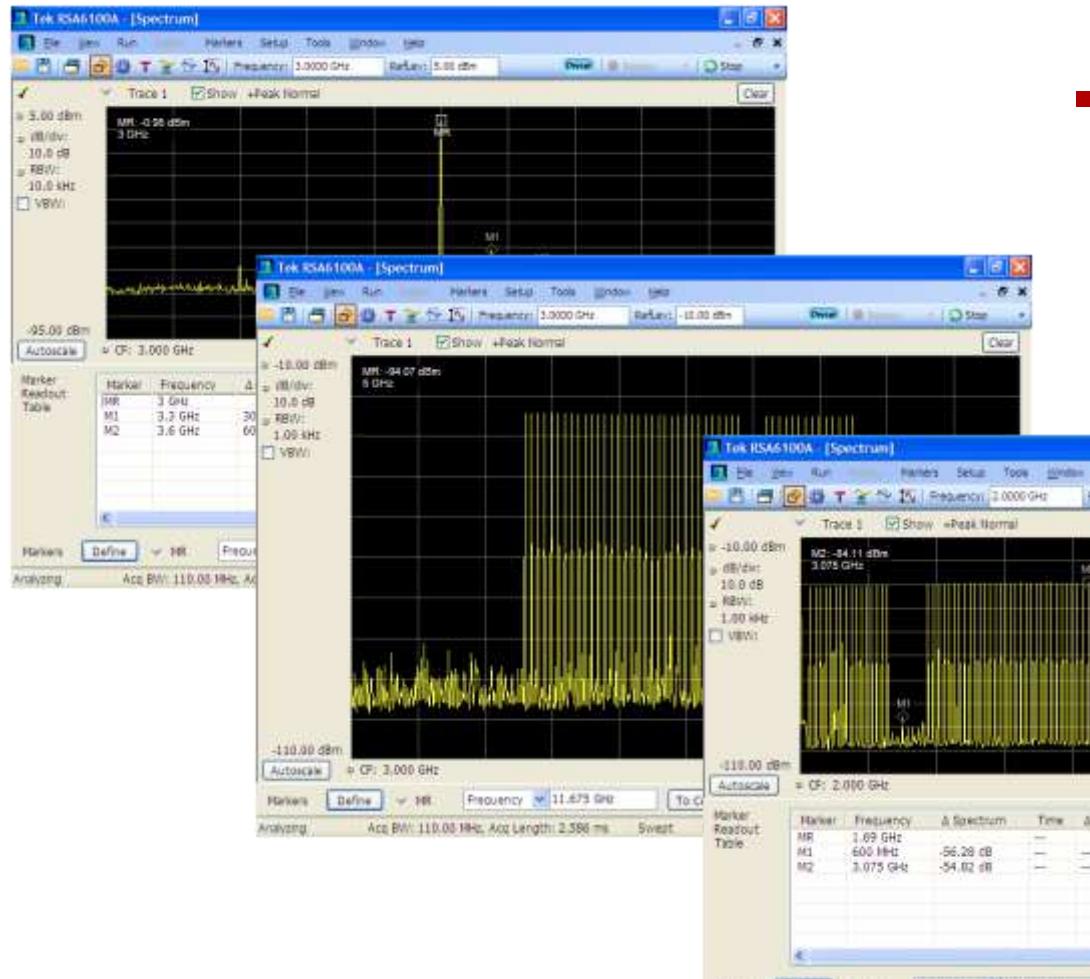
**PAM-4 at 12.5 GBaud**

## 应用实例3: 回放采集到的信号

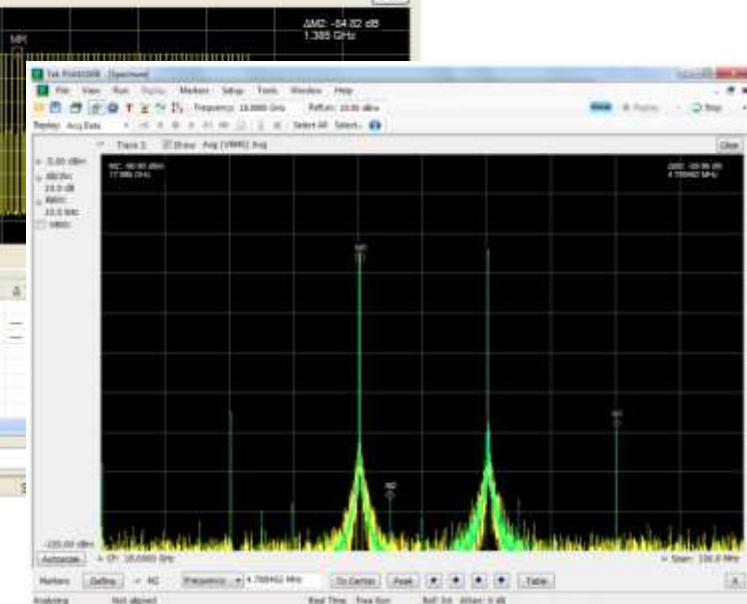
- 回放在其他仪器采集到的波形信息
  - 如频谱仪
  - 示波器
  - 逻辑分析仪
- 长内存支持: 16G内存, 支持秒级长度信号回放
- 回放方式可以自由定义
  - RF/IF
  - Baseband I/Q
- 波形可以预先编辑



# AWG70000系列：适用于任何宽带应用的高动态范围



- 宽带RF应用中超过-80dBc SFDR



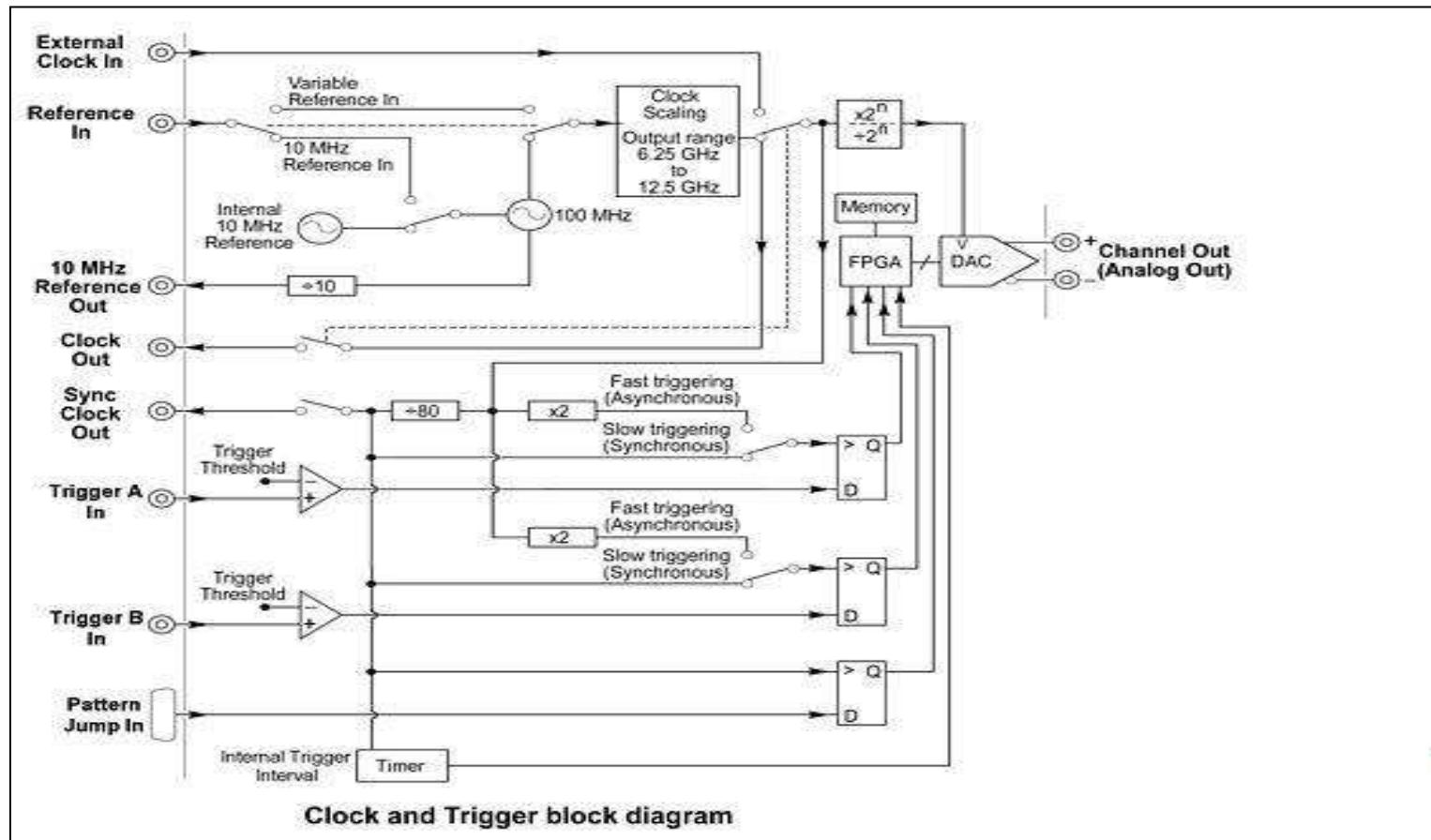
# 多通道信号仿真需要？

- 1) 通道数要求？
- 2) 带宽要求？
- 3) 相参性要求？
- 4) 通道间延迟要求？
- 5) 校准skew的便携性？
- 6) 同步的可重复性？
- 7) 可否编程控制？
- 8) 可否外同步触发？



# 多通道信号仿真需要？

- AWG内部电路结构简表



# AWG70000A Sync Hub: 同步盒

- 单个盒子支持同时四台AWG70K同步
- 最多提供8对差分通道, 带宽到13GHz以上
- 全自动化校准, 不需要人工干预到10ps偏差\*
- 支持外部时钟或者触发输入
- 支持Pattern Jump, 定义复杂跳转序列

前面板



后面板



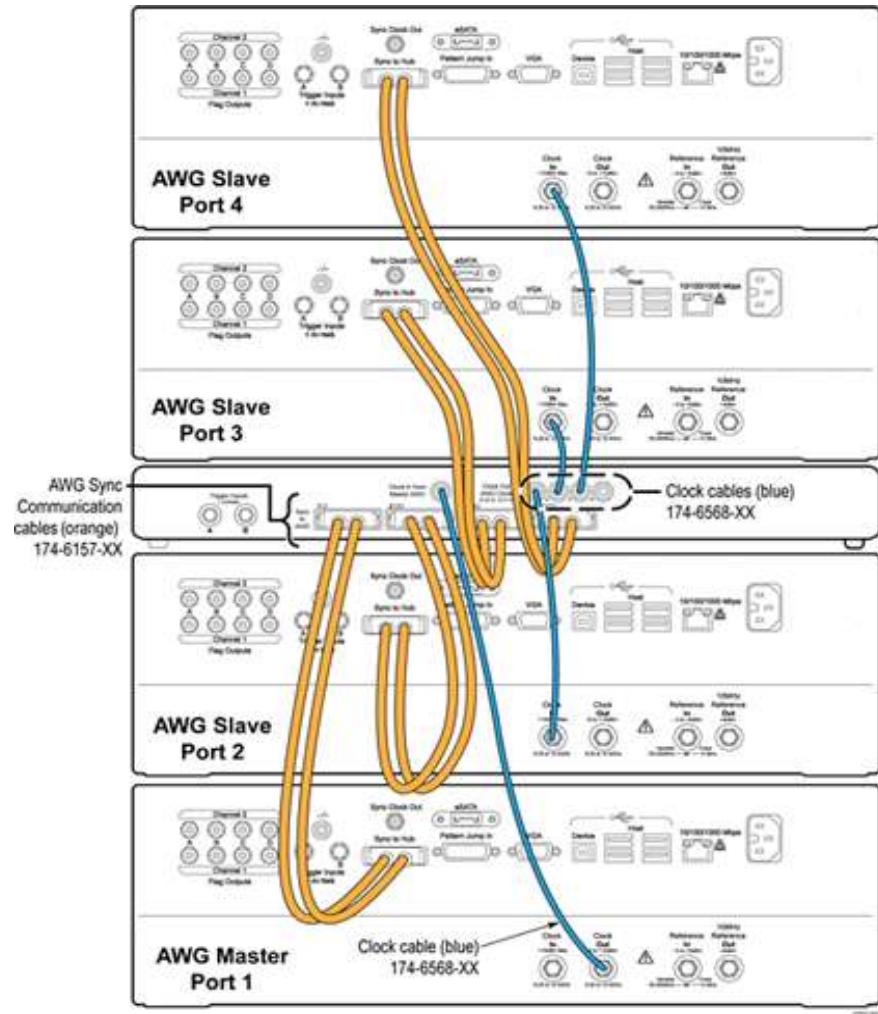
\*可以手动微调至更小skew

# AWG70000A Sync Hub: 同步盒

## AWG70000 SYNC HUB 指标

物品名称	AWGSYNC01
AWG Sync Hub 支持机型	AWG 70001A – 4 AWG's with 4 channels max AWG 70002A – 4 AWG's with 8 channels max
总通道数提供	8 channels
Skew可重复性	$\leq 2$ ps
随机抖动	0.315 ps rms
仪器间时间偏差(自动校准后)	$\pm 10$ ps, 可微调至更小
其他附件	Skew校准SMA高频线缆 保相SMA高频线缆 AWG70K通信用高速线缆.

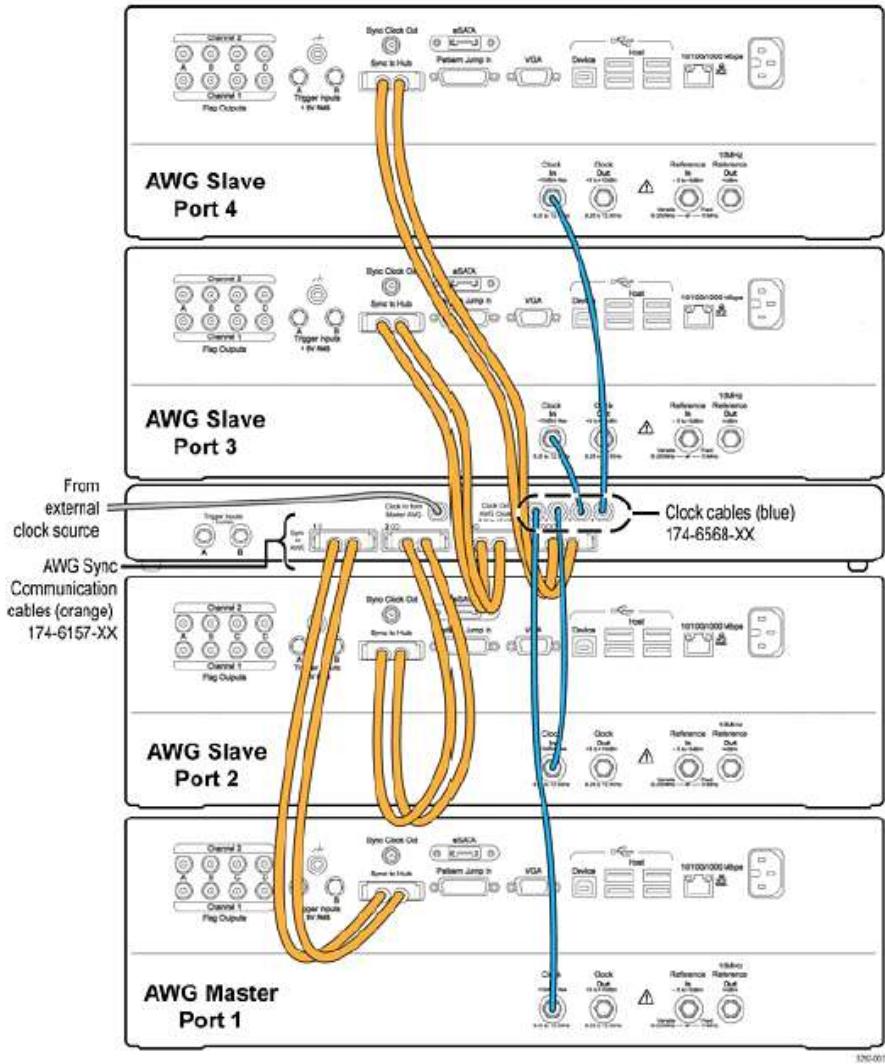
# AWG70000A Sync Hub: 同步盒



利用一台AWG作为Master来提供同步时钟



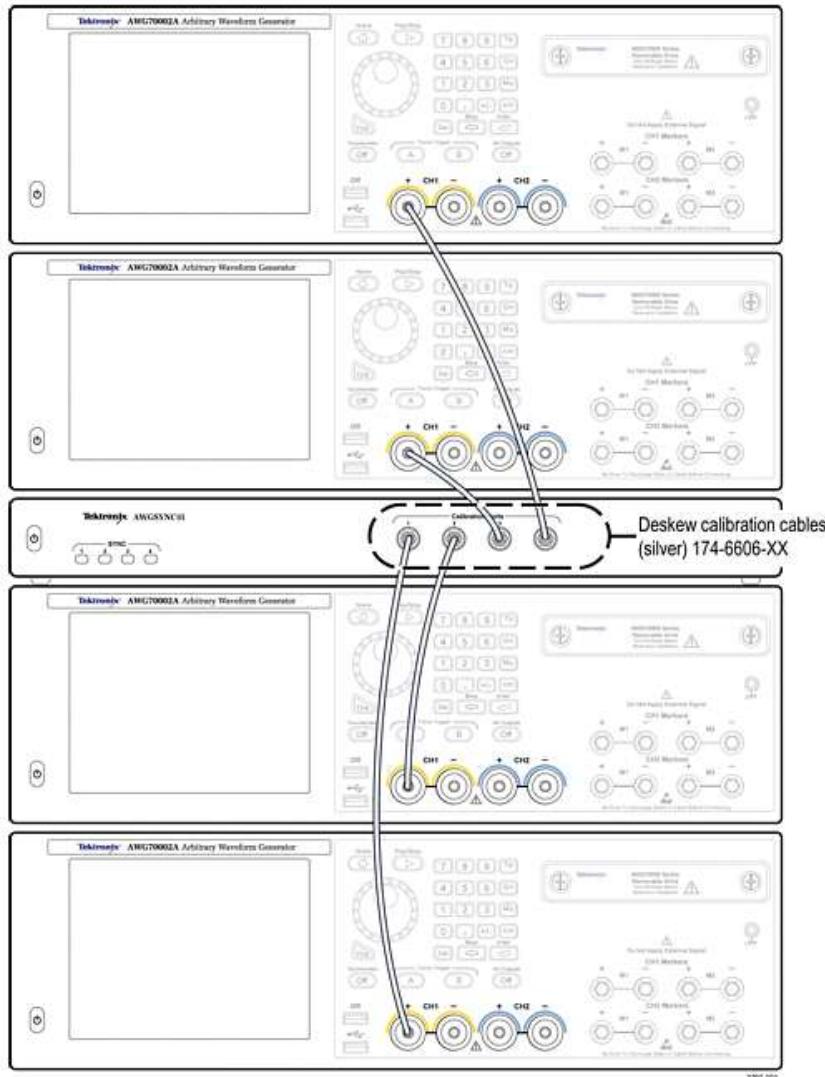
# AWG70000A Sync Hub: 同步盒



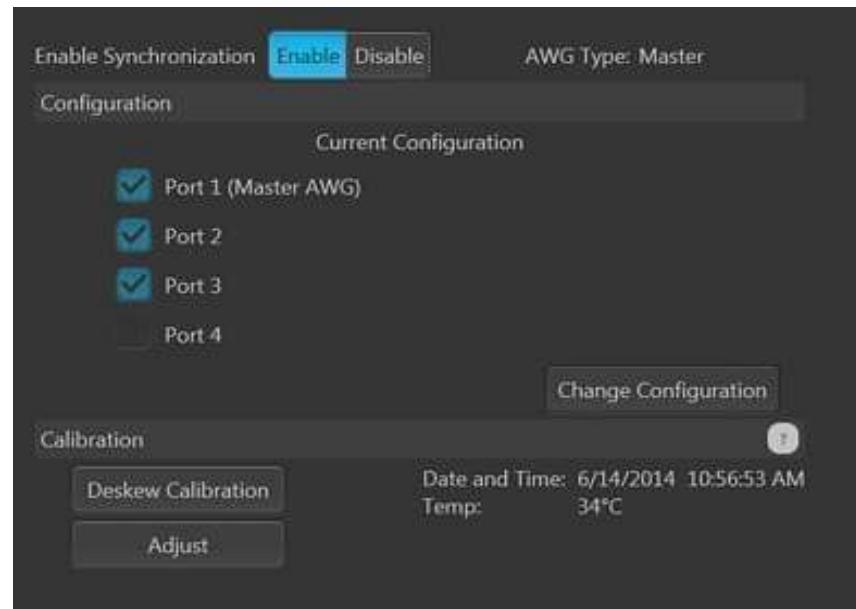
## 利用外部系统来提供同步时钟



# AWG70000A Sync Hub: 同步盒



全自动化校准, 只需要点击calibrate skew

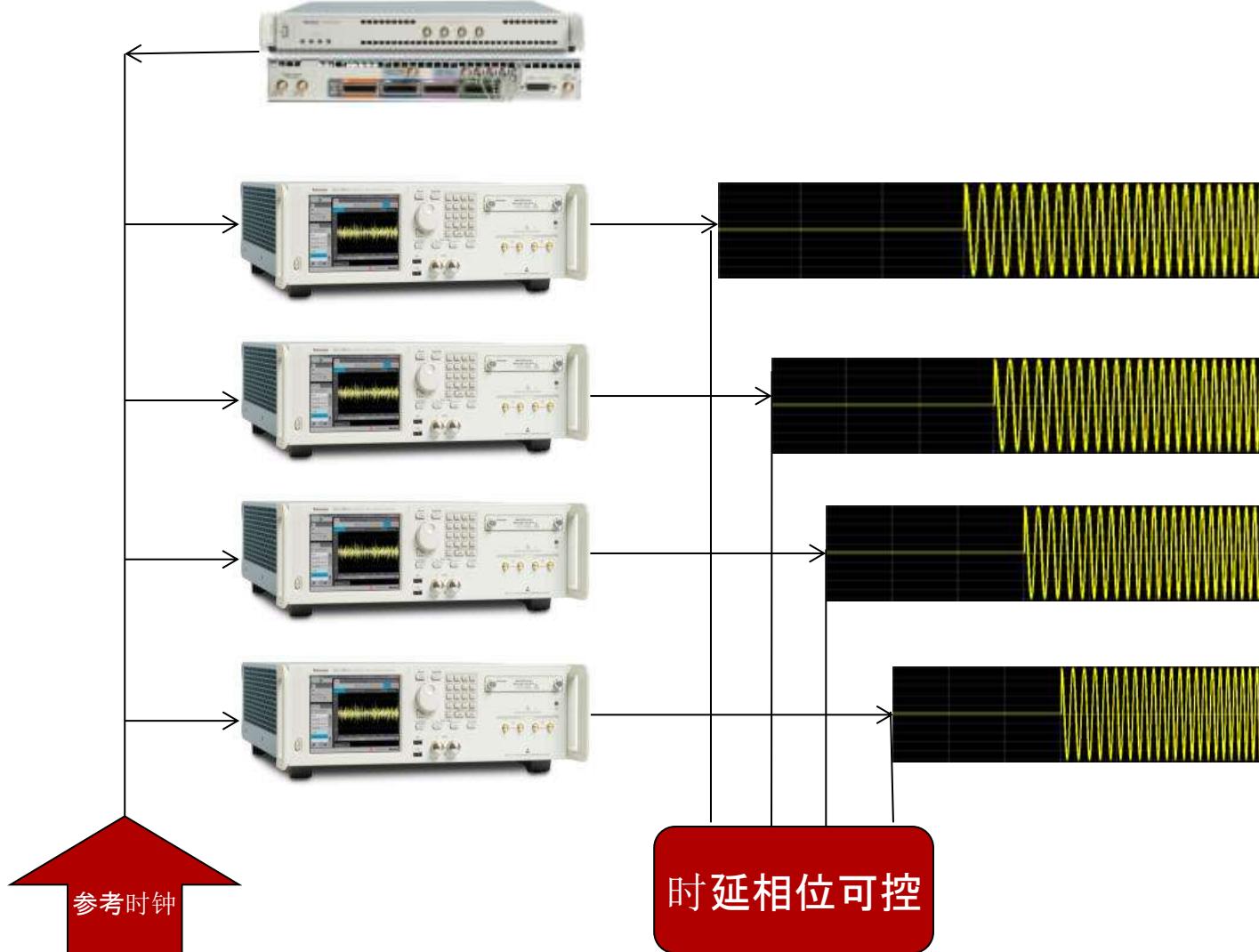


# AWG70000A Sync Hub: 同步盒

- 微调到更小skew

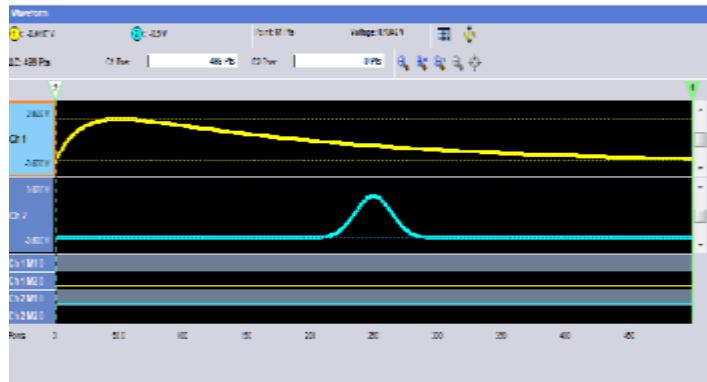


# AWG70000A Sync Hub: 同步盒



# 功能简要列表

- 通用信号模拟
- 高速脉冲信号
- 高速串行接收机测试
- 超宽带通信系统测试
- 快速跳频信号
- 雷达系统测试仿真
- OFDM系统测试（光和电）



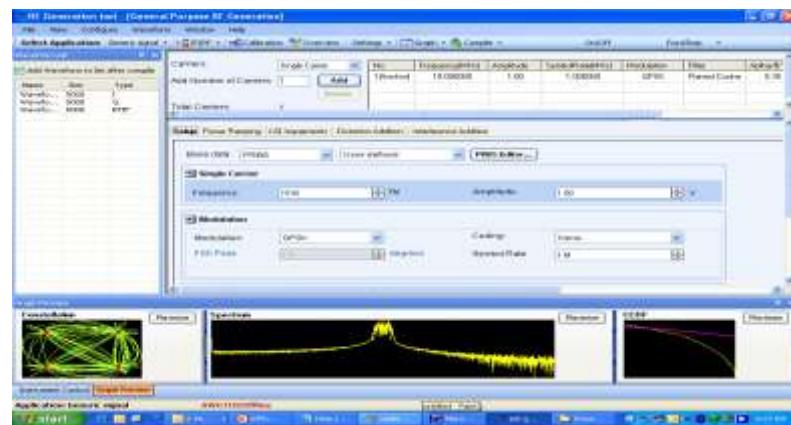
PCI  
EXPRESS

ddr3  
A JEDEC STANDARD

SERIAL  
ATA

DisplayPort

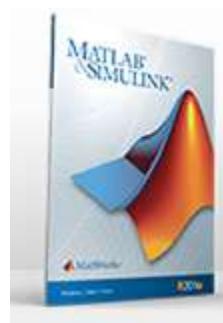
HDMI



Tektronix®

# 波形回放

- 使用AWG模拟、回放和增强传感器信号，可重复强、效率高、用法灵活
- AWG支持几乎所有的通用波形采集设备和信号仿真平台



Oscilloscopes



Logic Analyzers



AWG70000



DUT



Real-Time Spectrum Analyzers

# 将“实时分析”的理念带入宽带射频系统

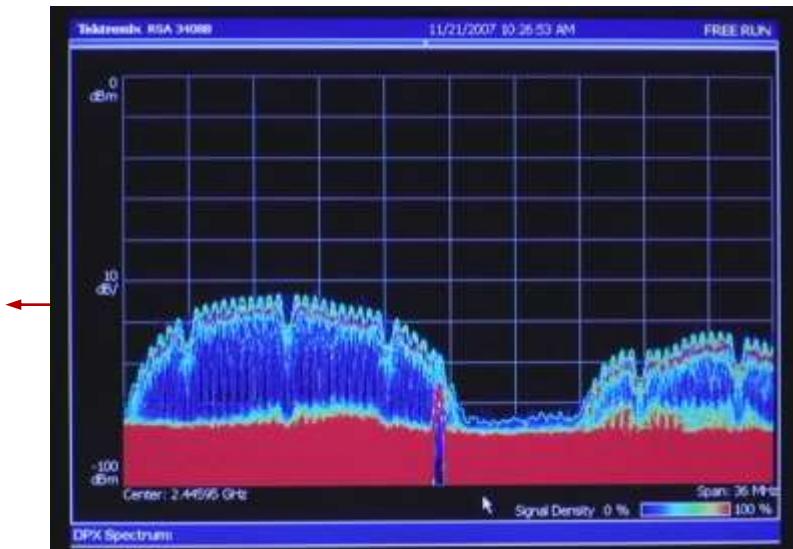
- 新体制宽带射频系统中的信号通常都是时变的，因此时域测试必不可少
  - 幅度、频率、相位的时间特性在测试中至关重要
- “实时”意味着实时观测、实时监控、实时捕获和分析
- “实时”的目的和实现方法
  - 在射频信号上实时采集
  - 能够在信号中发现关心的信号
  - 能够用各种手段隔离出关心的区域
  - 能够灵活指定分析的时间和位置
  - 对于关心的区域能够时间相关地测试各种参数

# 传统和实时方式的差别-同频、瞬态信号

传统扫描频谱分析仪

相同的信号

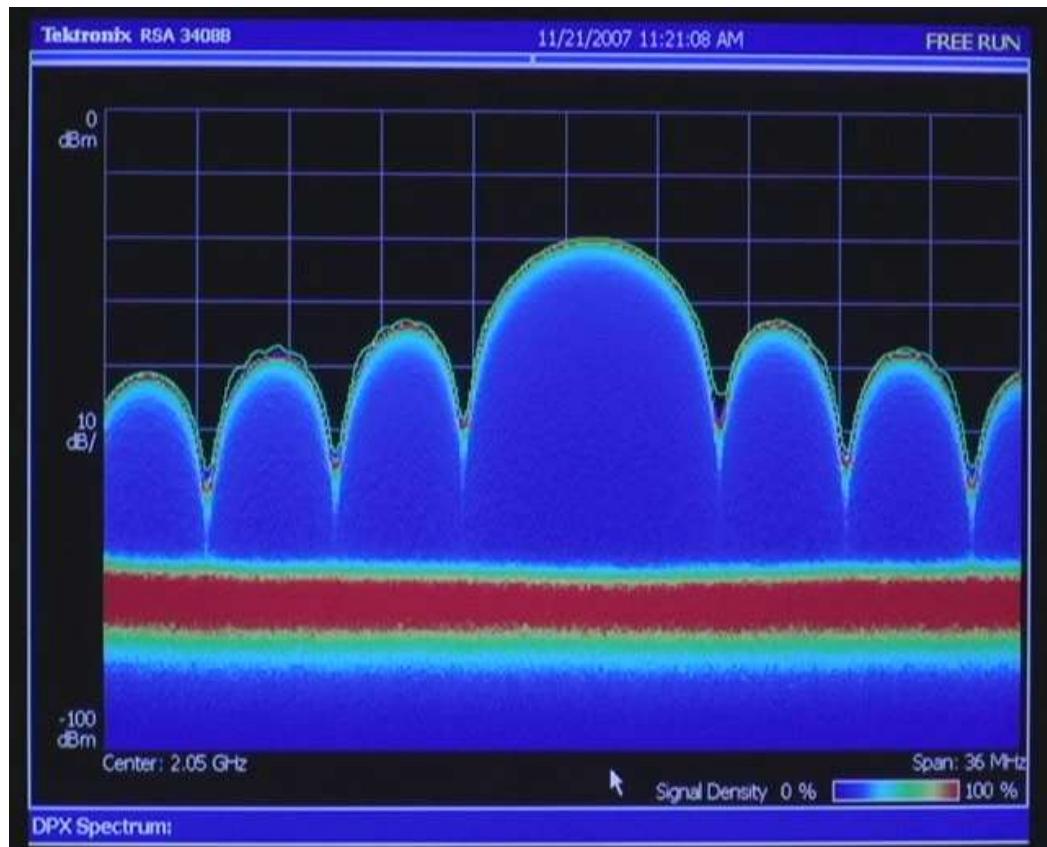
DPX™ 实时频谱



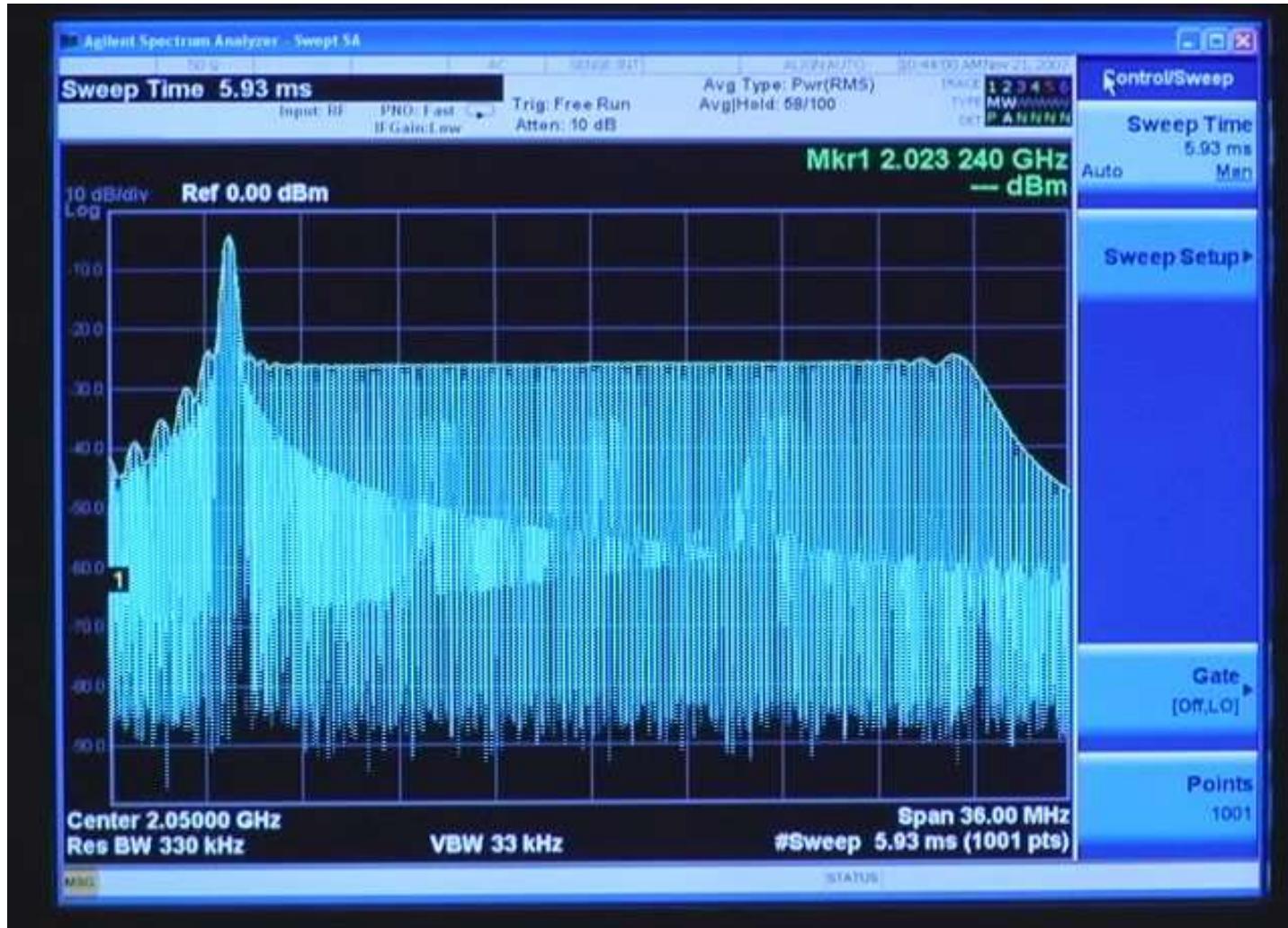
← Low  
Level  
Signal

# 实时观测

- 对于时变信号的频谱观测，关键在于得到频谱的速度有多快
- 泰克实时频谱使用专利 DPX技术，可以最高每秒获取390,625个频谱
- 信号只要驻留2.7us或以上，就能100%捕获；小于2.7us也能以较高的概览捕获
- 对于动态信号，如脉冲调制信号、复杂环境下的信号等，可以让用户看到生动的画面



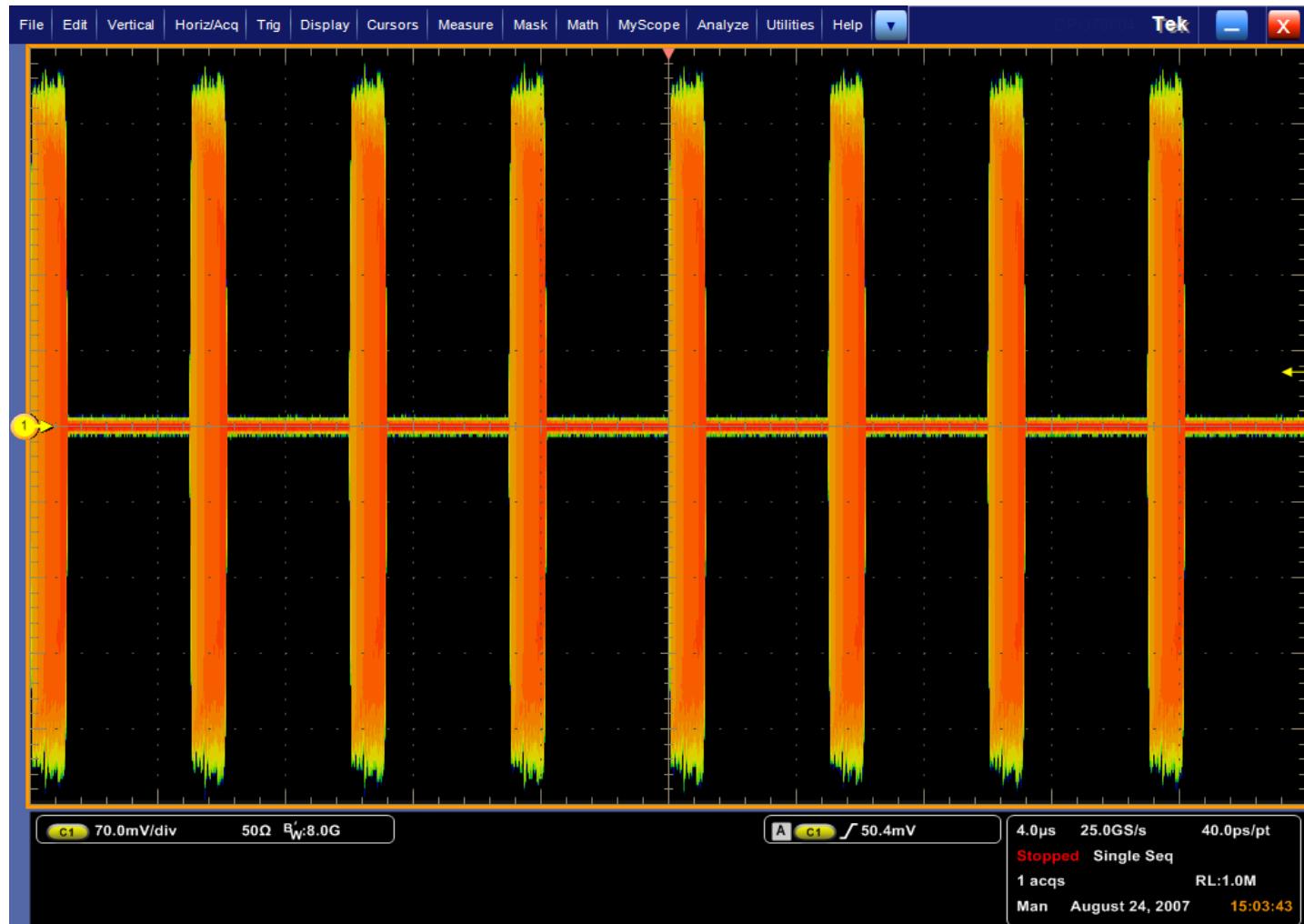
# 观测多部雷达工作：传统扫频方式



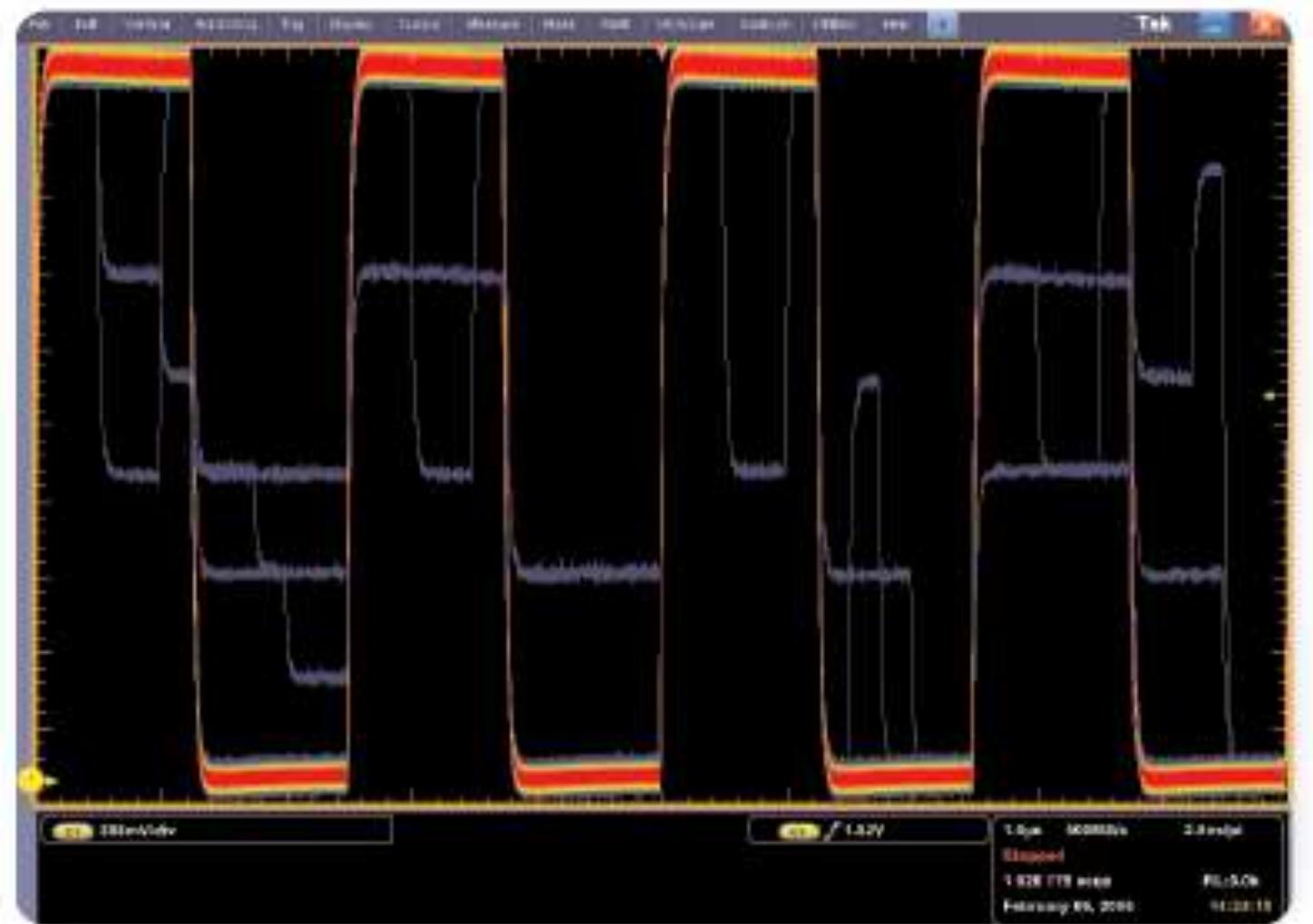
# 观测多部雷达工作：实时频谱方式



# 观测雷达工作：时域实时



# DPO的波形捕获率——眼见为实



# 业内首款实时信号分析仪

- 第三代DPX技术- DPX现在可用于多个域
  - 幅度、频率或相位随时间变化

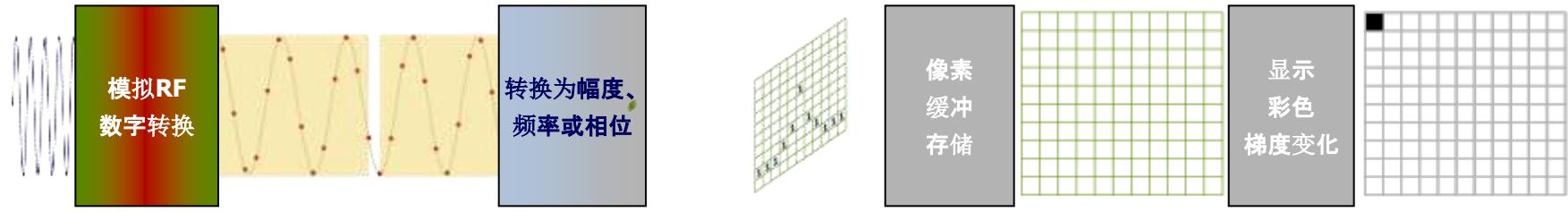
RF

分析样本集

**幅度、频率、相位随时间变化**

像素图

温度等级



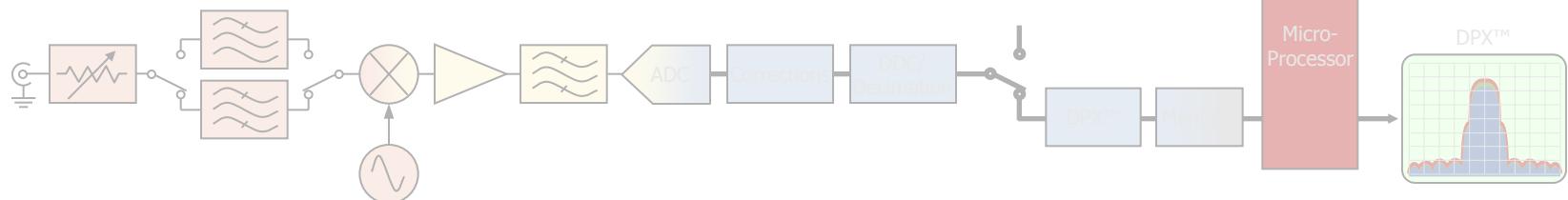
1 Hz  
至  
6.2 GHz

300 MS/s

**最高50,000次波形变化/秒**

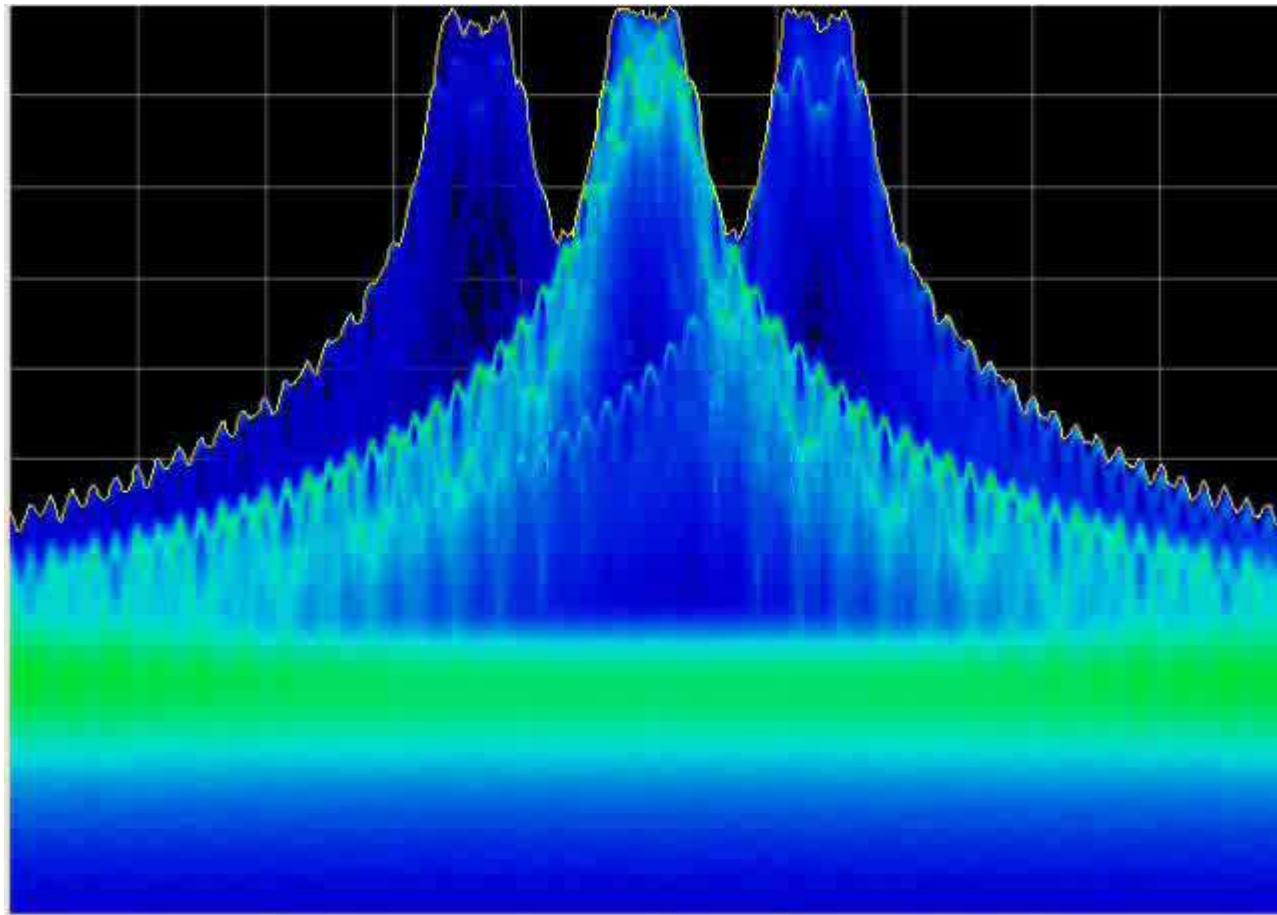
**最高2500次波形变化/帧**

20帧/秒



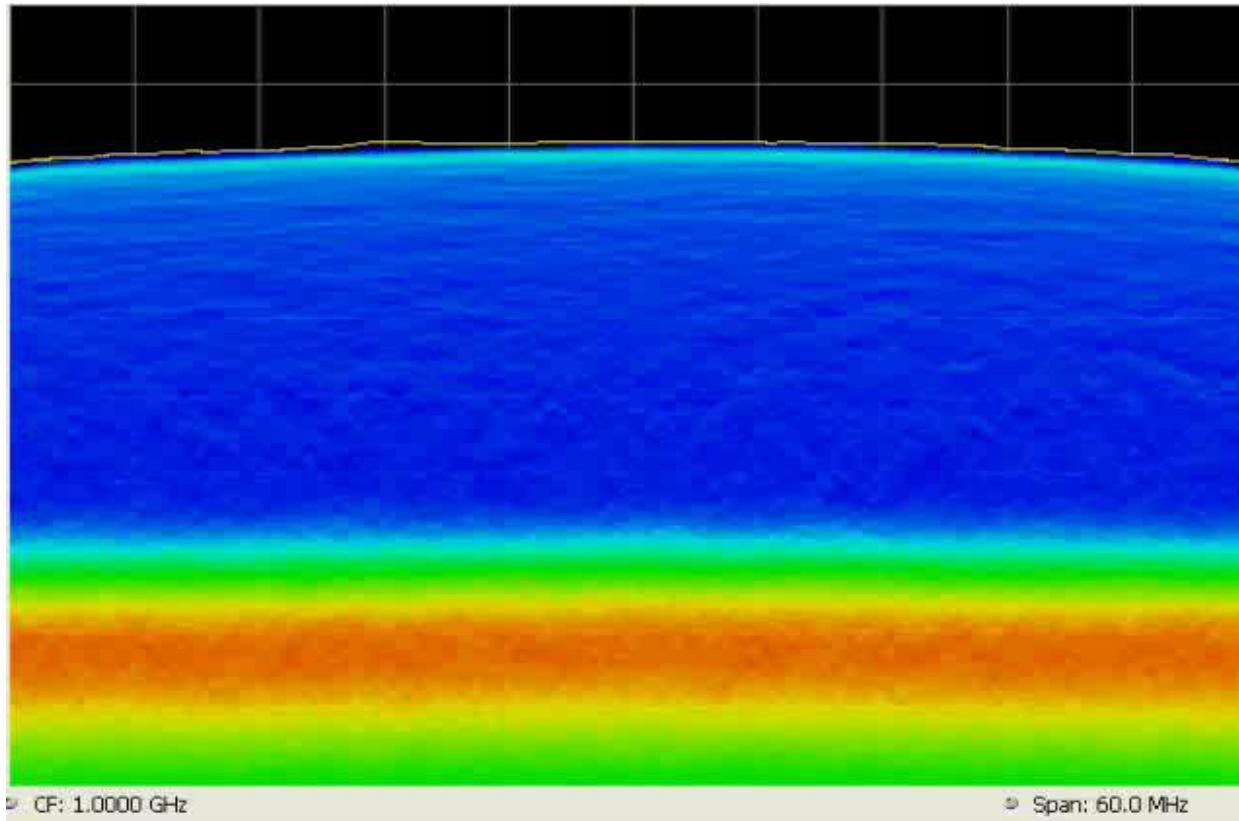
# 强大的实时捕获-概率密度触发

- 利用“颜色”的不同作为触发条件-频谱概率信息



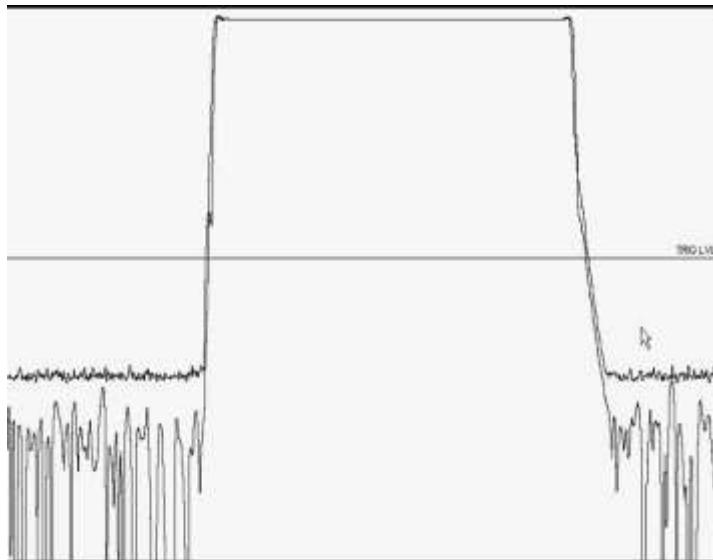
# 扫描DPX™

- 将跨度分为多段，每段进行 DPX 并“缝合”；各段 POI 指标不变
- 最终图像为 801x201 像素
- 适合观测超宽带信号

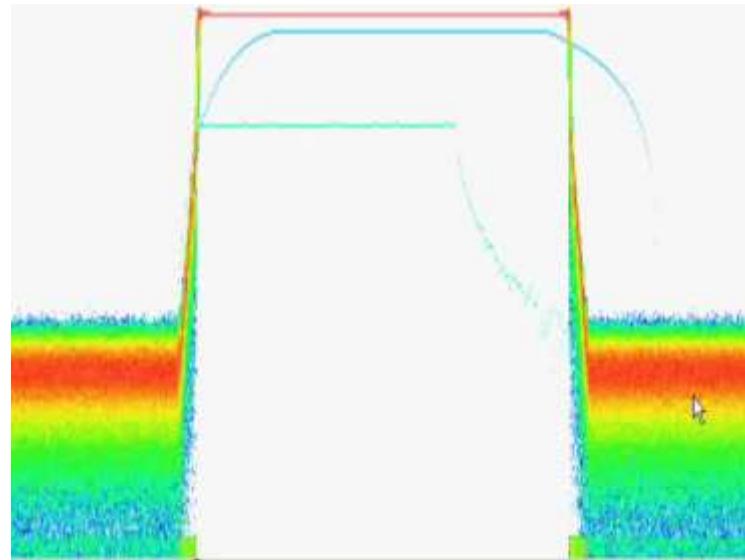


# 第三代DPX多域分析—幅度、频率&相位 vs. 时间

- 实时信号分析仪amplitude vs. time 虽然是无缝采集，但显示更新较慢
- DPX-Zero Span
  - 可显示幅度、频率或相位随时间的变化
  - 每秒显示 50,000 触发波形（扫描时间  $\leq 10 \mu\text{s}$ ）极强的瞬变波形捕捉能力



同类传统分析仪每秒生成30-100次幅度随时间变化曲线，无法暴露活动不频繁的事件



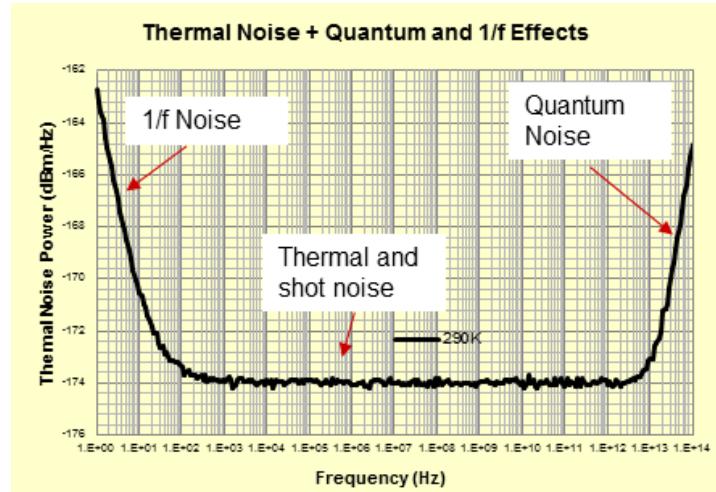
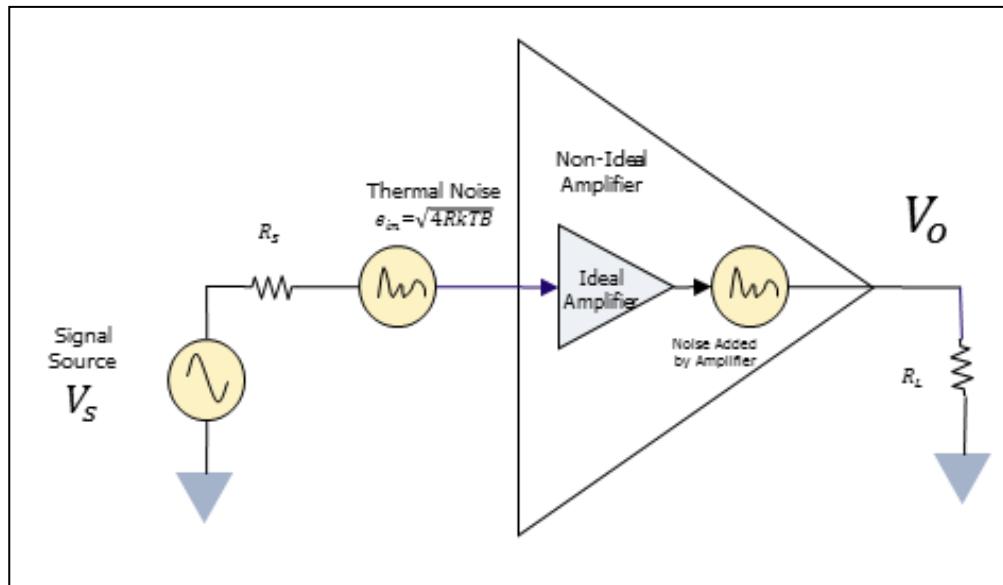
DPX零SPAN每秒生成50,000次波形变化，有助于发现隐藏的异常状况

# 实时捕获和分析

- 和传统矢量信号分析不同，泰克实时频谱分析设备可以指定捕获时间和分析时间
- 让用户拥有了灵活的分析能力
  - 只分析关心的区域
- 时间相关的分析能力
  - 在时域、频域、调制域等多个窗口，通过光标方便地关联起来
- 专业的脉冲分析套件
  - 峰值功率、平均功率
  - 传统的时域参数，如脉冲到达时刻、上升/下降时间、脉冲宽度、脉冲重频、纹波、衰落、占空比等
  - 时频参数，如脉冲内频率偏差、脉冲内相位偏差、脉冲到脉冲相位变化、脉冲到脉冲频率变化等
    - 支持预设信号特性，建立理想信号，从而计算出偏差
  - 脉压参数分析
  - 分析脉冲参数变化趋势，验证信号特性、发现失效原因

# 频谱仪：Noise figure和Noise factor测试

- 放大器在使用时，接收端会引入热噪声对其放大，同时工作过程中也会产生噪声
  - 电子器件噪声系数测量：如放大器等
  - Y因数测试方法准确校验和测试
  - 自动测试软件



$$V_o = G(V_S + e_{in}) + e_a$$
$$V_o = GV_S + (Ge_{in} + e_a)$$

Where:  
 $V_o$  = output voltage  
 $G$  = amplifier gain  
 $e_{in}$  = external noise present at the input  
 $e_a$  = noise added by the amplifier

# 频谱仪：Noise figure和Noise factor测试

- 三步骤测试

- 校准测试设备本身的Y因子

- $P_1$ : 关闭噪声源, 在噪声发生器的输出端量测噪声功率
- $P_2$ : 打开噪声源, 在噪声发生器的输出端量测噪声功率

- 测试级联的设备本身的噪声因数

- $P_3$ : 关闭噪声源,  
在与噪声发生器级联的待测设备的输出端量测噪声功率
- $P_4$ : 打开噪声源,  
在与噪声发生器级联的待测设备的输出端量测噪声功率

- 利用 Friis 方程式来计算待测物本身的噪声系数

As a function of the two noise factor measurements

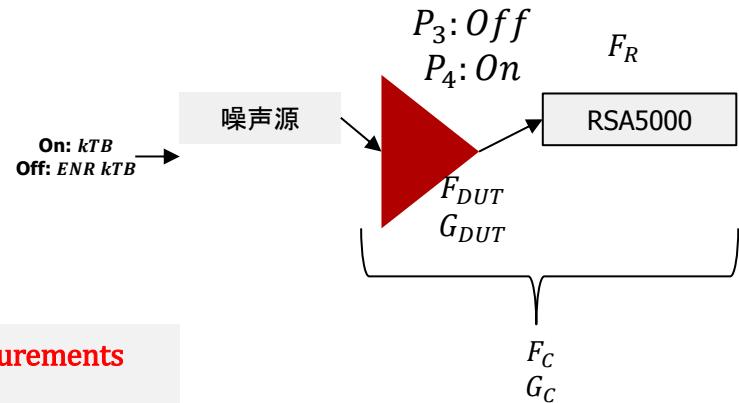
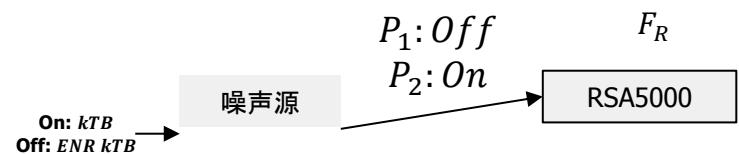
$$F_C = F_{DUT} + \frac{F_R - 1}{G_{DUT}}$$

$$F_{DUT} = F_C - \frac{F_R - 1}{G_{DUT}}$$

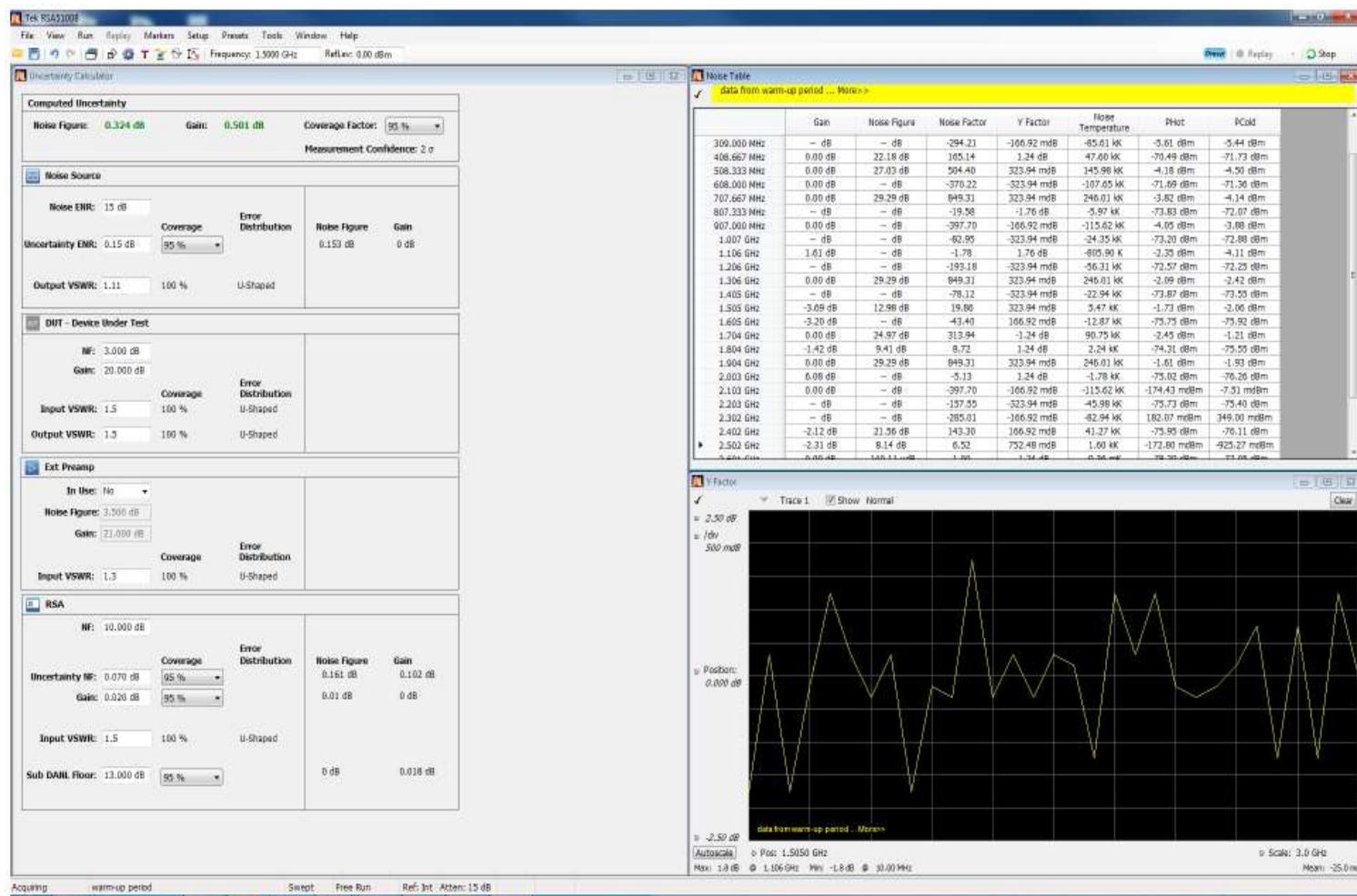
As a function of the four power measurements

$$G_{DUT} = \frac{P_4 - P_3}{P_2 - P_1}$$

$$F_{DUT} = \frac{(ENR - 1)(P_3 - P_1) + P_2 - P_1}{P_4 - P_3}$$



# 频谱仪：Noise figure和Noise factor测试

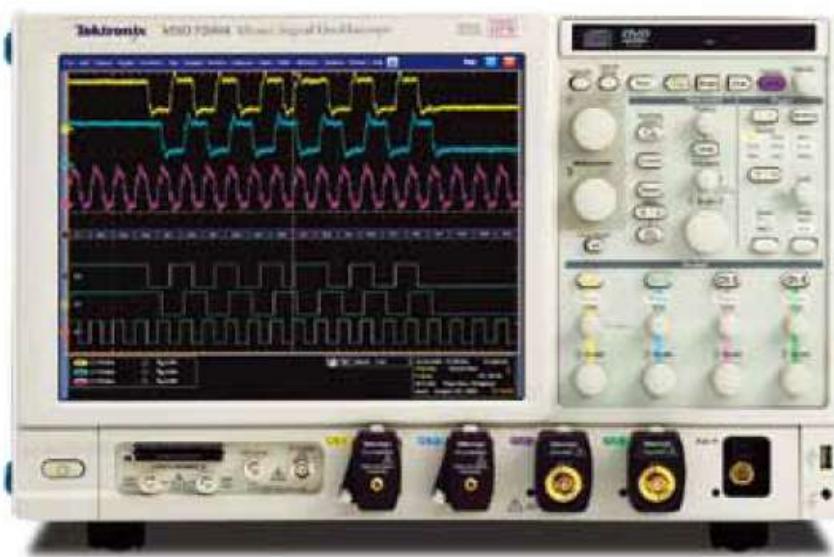


# RSA5000系列实时信号分析仪

## 高性价比实时频谱仪

Specification	RSA5000
频率范围	1Hz ~ 3G, 6G, 15G, 26.5GHz
分析带宽	标配25MHz, 40/85/110/165 MHz可选
POI, 最短信号持续时间	2.8us
无杂散动态范围 (SFDR)	-75dBc (BW=110MHz)
平均噪声电平 (DANL@2GHz)	-168dB/Hz, 预放大器开
相位噪声 (phase noise@1GHz)	-113 dBc/Hz at 10 kHz offset
内存	1GB / 4 GB
扫描DPX	全频段DPX扫描
频谱密度统计	自动统计信号密度
实时捕获	多种触发方法: FMT; 谱密度; 时间触发、频率沿触发等等
实时频谱监控	实时数字IQ输出, 配合成套磁盘阵列, 可完成长时间监控

# 宽带接收机：MSO/DPO70000C/DX系列高性能示波器



## MSO/DPO70000C 系列和 DX 系列

不管您是第一次最新设计通电，还是检验满足最快速标准，或是研究宇宙的基本原理，您都可以获得所需的性能、精度和工具，更快地完成工作。

### 产品特点

- 4 – 33 GHz 真正模拟带宽，根据最新高速串行标准执行测量
- 在 2 条通道上提供行业领先的 100 GS/s 采样率
- 16 条逻辑通道，80 ps 定时分辨率，调试数字信号和模拟信号 (MSO70000 型号)
- iCapture- 通过一条连接，同时支持模拟信号和数字信号 (MSO70000 型号)
- 高达 >300,000 wfms/s，最快速的波形捕获速率
- 高达 1G 点记录长度，支持 MultiView Zoom™，快速浏览数据
- 可视触发，精确判定触发，在复杂波形中查找独特事件



近 50 种特定应用解决方案，执行特定标准认证、自动测量和扩展信号分析。

# DPO/MSO70000 DX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

■ 33G模拟带宽



■ 超低底噪声

■ < 1mv rms 低噪声

■ 16 数字通道

连同4个模拟通道  
组成的采集系统

■ Event Qualified  
Triggering

隔离定位偶发的故障

■ 12.5GS/s 数字通道采样率

■ 100GS/s 模拟通道采样率

■ 深存储

■ 1G 模拟通道存储深度

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

# P7600系列超低噪声探头

业内最高带宽  
33G探头



P76CA-292C  
2.92mm Coaxial Adapter with Cables

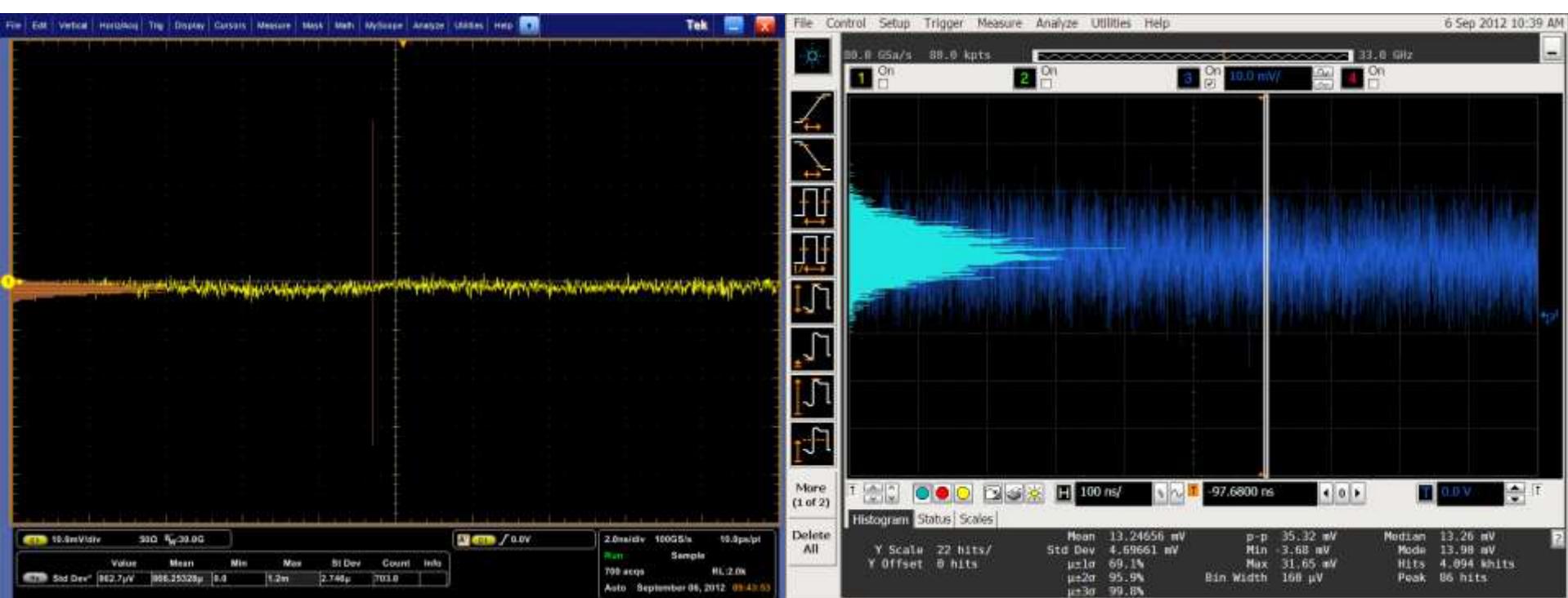


P76CA-SMP  
SMP Coaxial Adapter with Cables



P76TA  
P7500 Tip Adapter

# Coaxial Noise Comparison 10mV/div

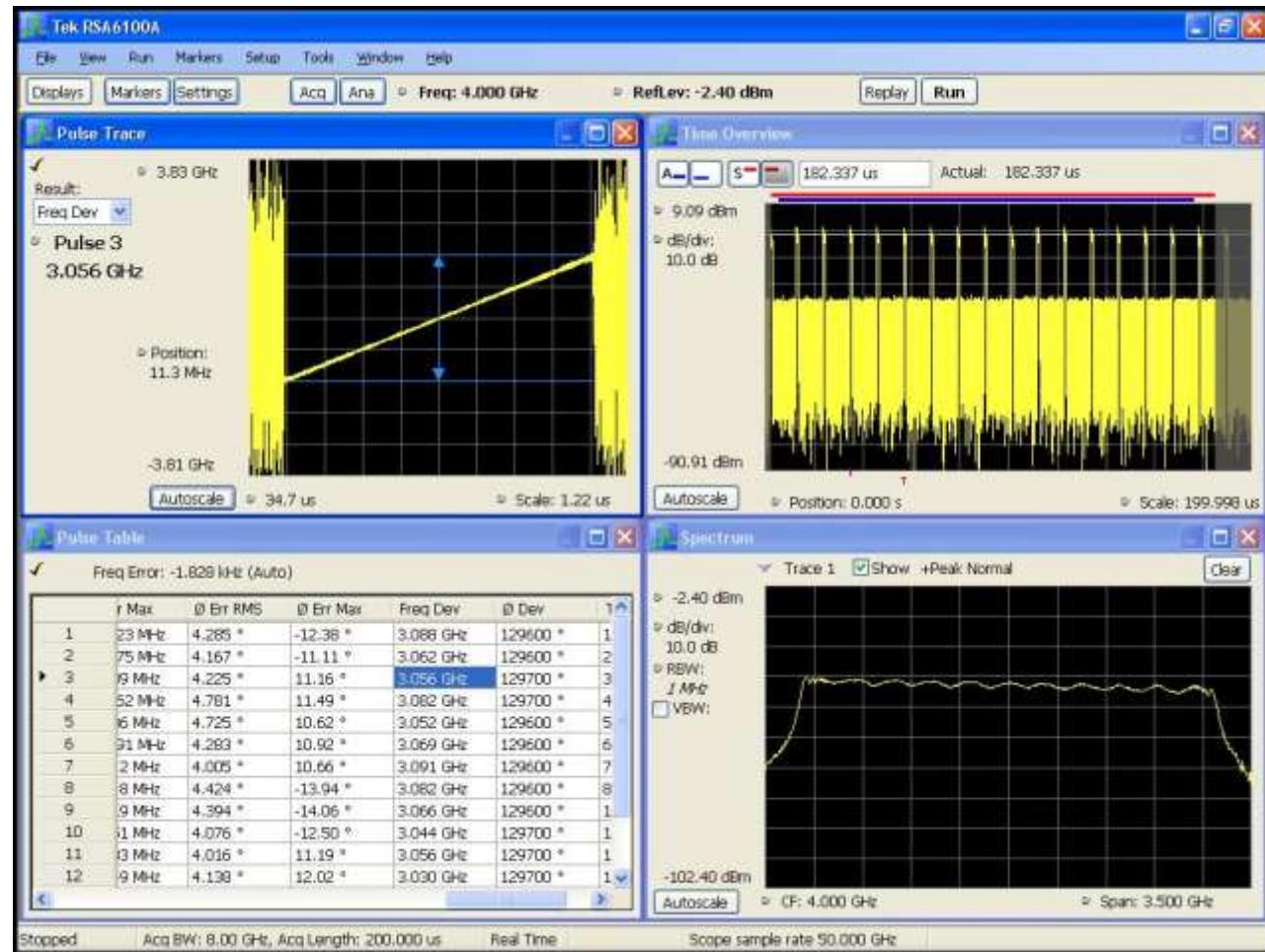


DSA73304D + P7630 + P76CA-292C  
0.86mVrms

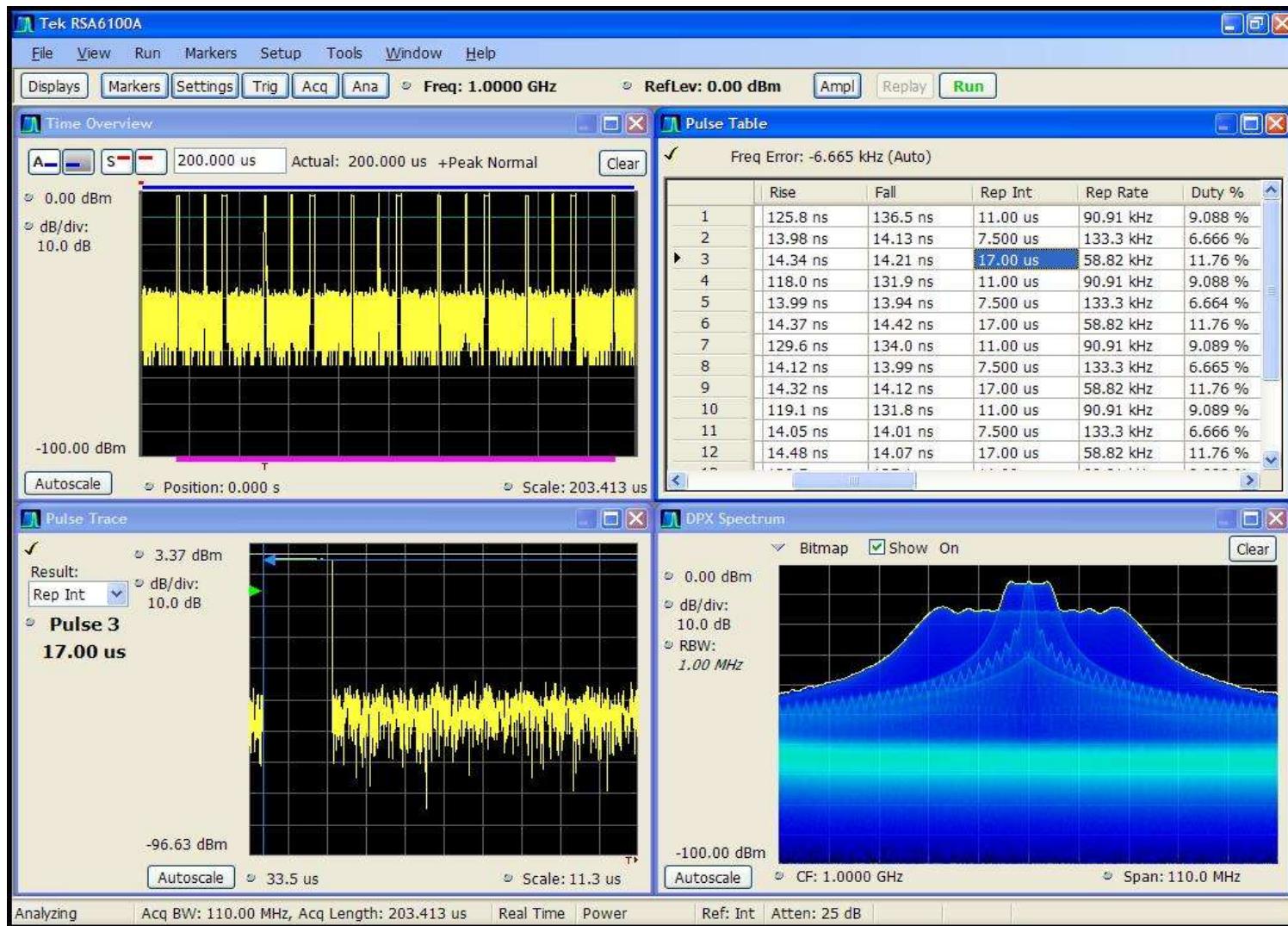
DSA-X 93204A + N2803A + N5444A  
4.6mVrms

# RSA对雷达信号的分析，4G内存让您看到更多

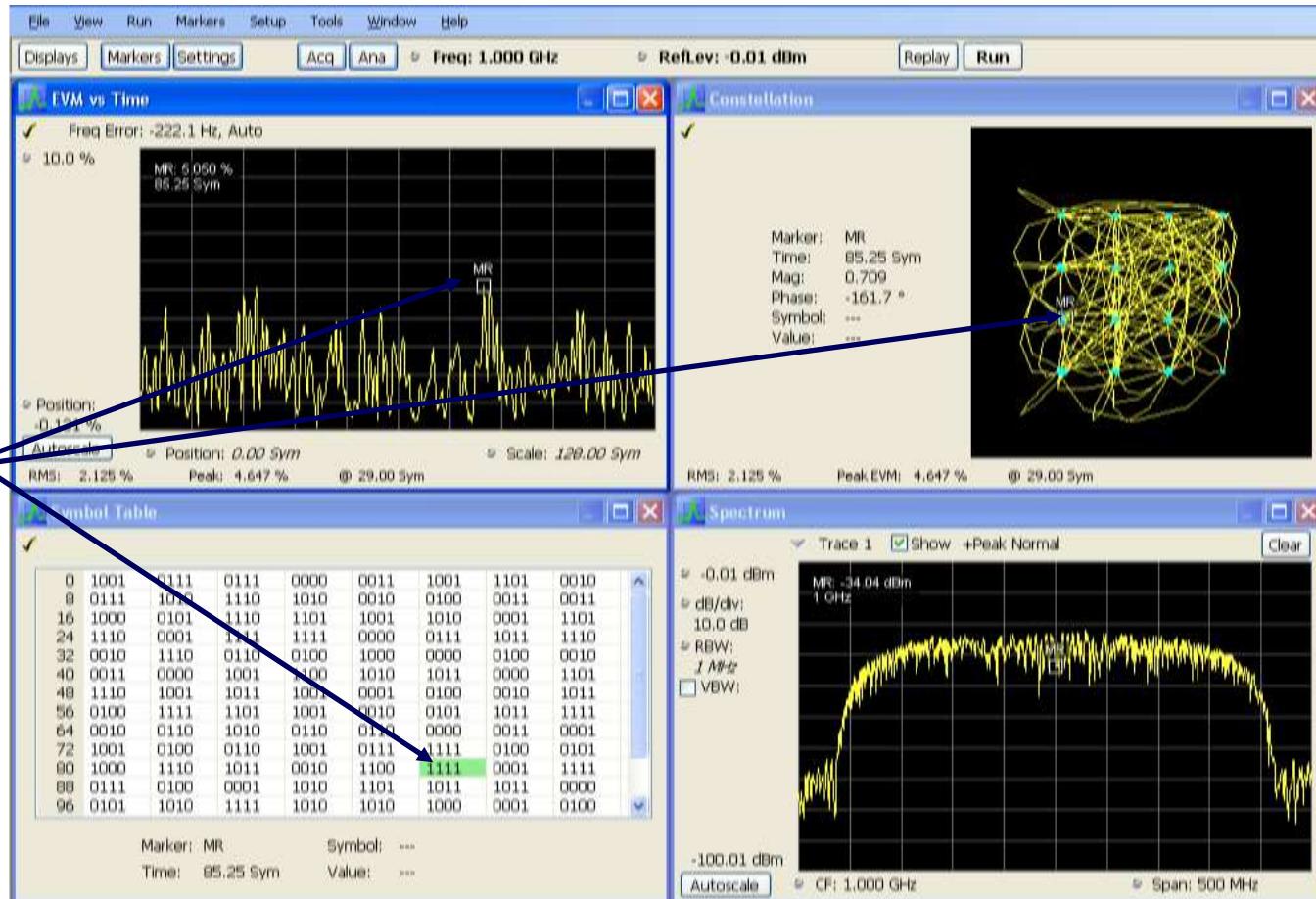
- 单脉冲解调
- 多脉冲分析，可以达到10000个脉冲
- 最专业的雷达软件
- 细化雷达类型，可以选择雷达信号类型
- 可以同时打开模拟解调和数字解调，便于分析相位编码雷达信号
- 方便分析捷变频信号



# 多脉冲PRI分析

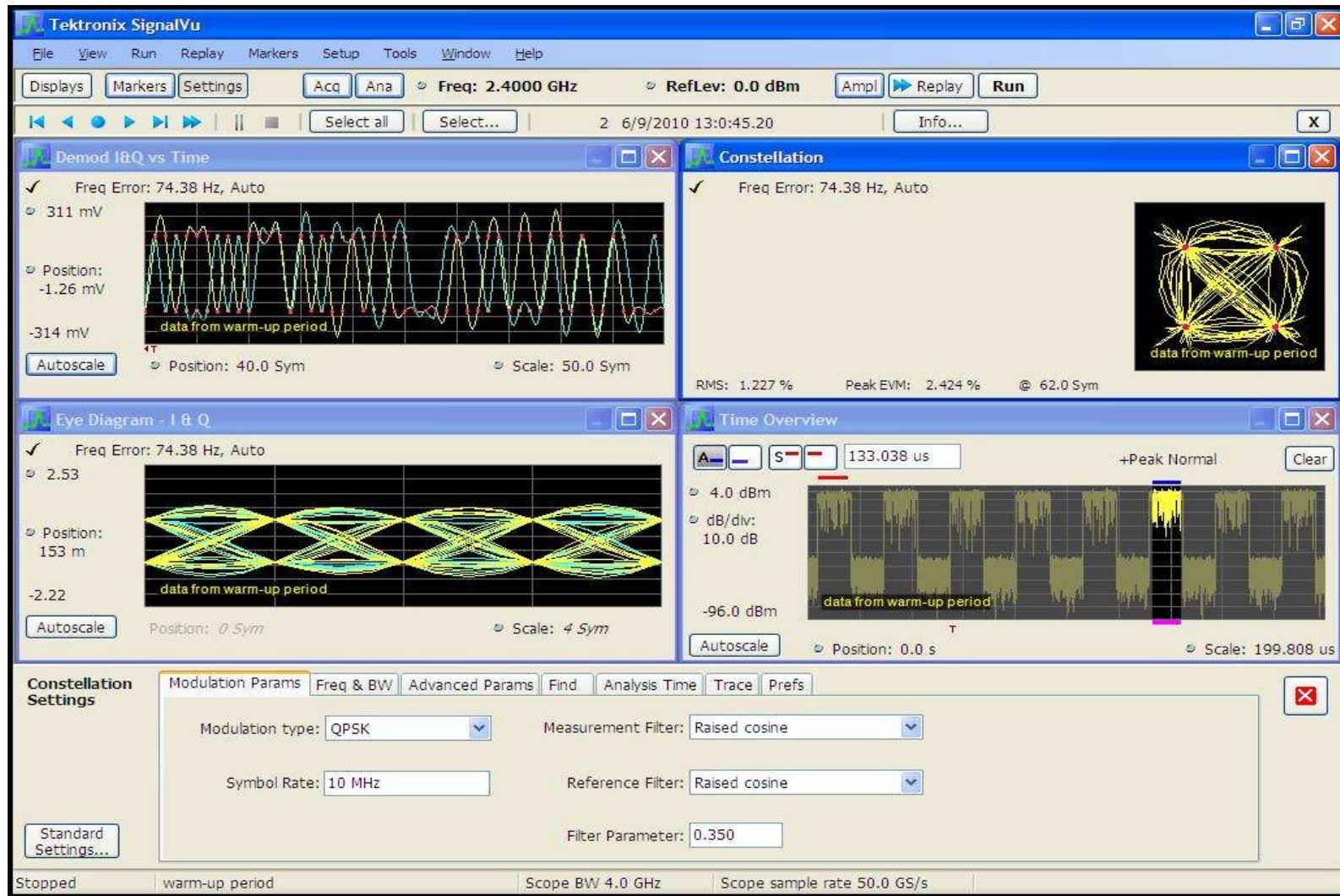


# SignalVu: 多域联合观测

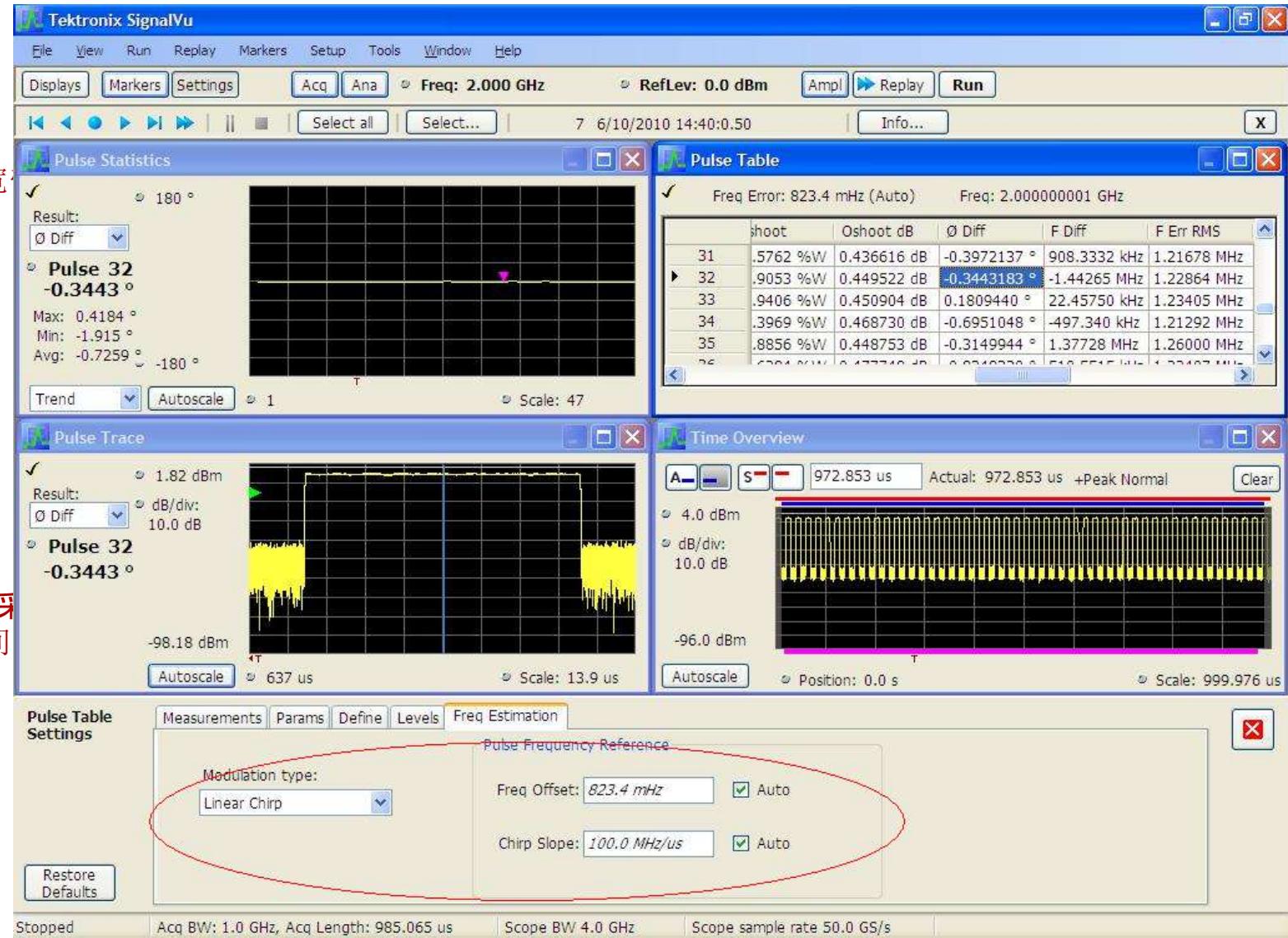


16QAM – 312.5MS/s

# SignalVu: 分析跳频信号



# SignalVu: 宽带雷达

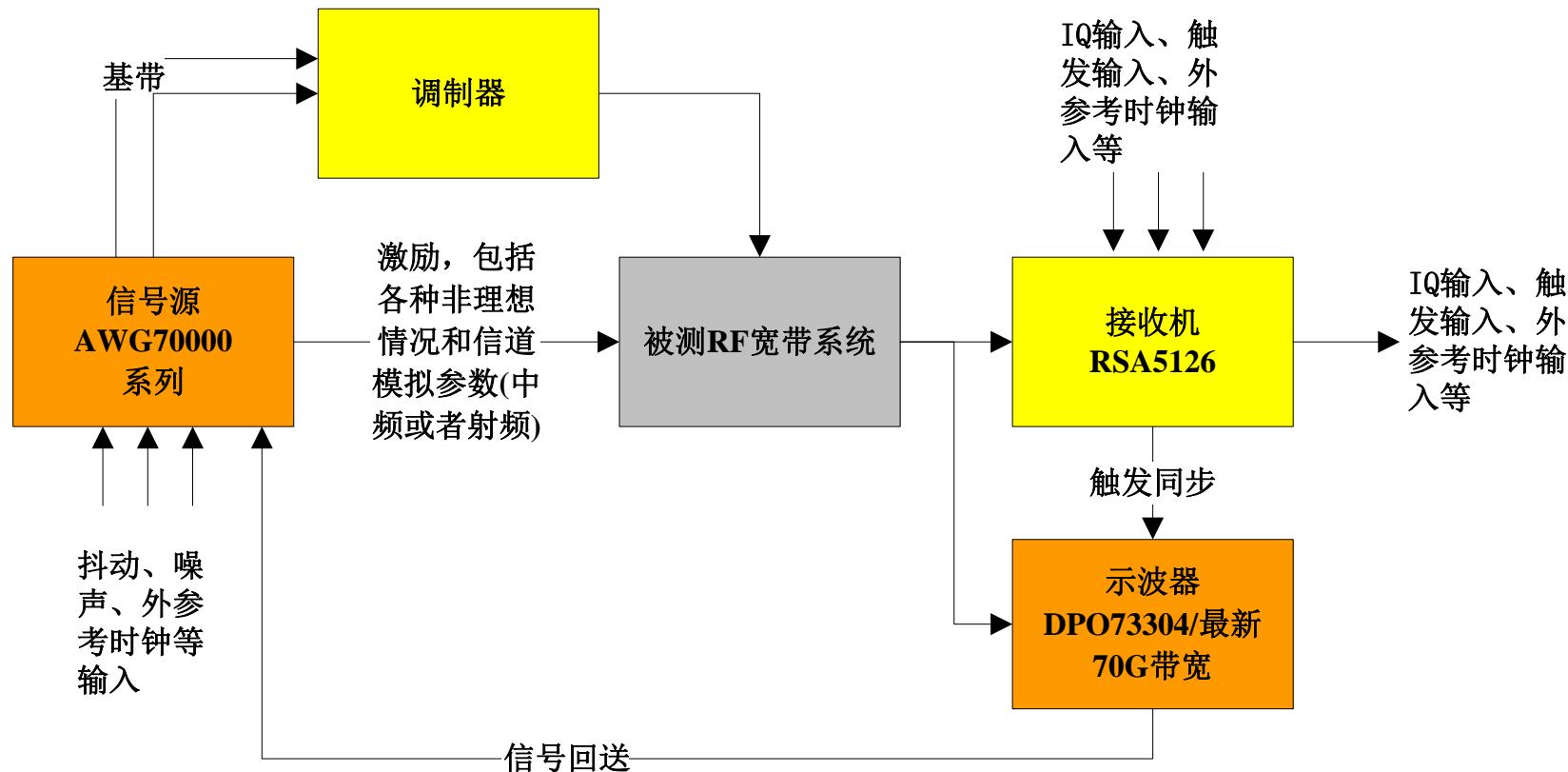


# 为宽带测试提供足够的带宽

- 实时频谱分析配合足够带宽的仪器，发挥更好的性能
  - 实时频谱分析仪，73dB@165MHz
  - 将示波器作为宽带/超宽带接收机，配合实时频谱分析软件，获得宽带分析所需要的带宽和分析能力。
    - 泰克示波器可以提供四通道匹配的性能，将射频测试瞬时带宽提高到33GHz，未来70GHz带宽直接采集，无需下变频
    - 多通道输入，提供宽带基带（差分或单端）分析能力
  - 宽带接收机，不仅可以测试被测系统的发射机，其结果还可以作为被测系统接收机的验证参考
- 另一方面，宽带信号源必不可少
  - 宽带接收机测试需要宽带信号源
  - 专业的激励信号仿真和生成软件
  - 同样，这些宽带激励源不仅用于接收机测试，还可以作为发射机的对比参考

# 泰克宽带测试系统框图

示波器和实时频谱分析仪采集的实际信号，可回送给任意波形发生器回放，从而形成闭环测试。



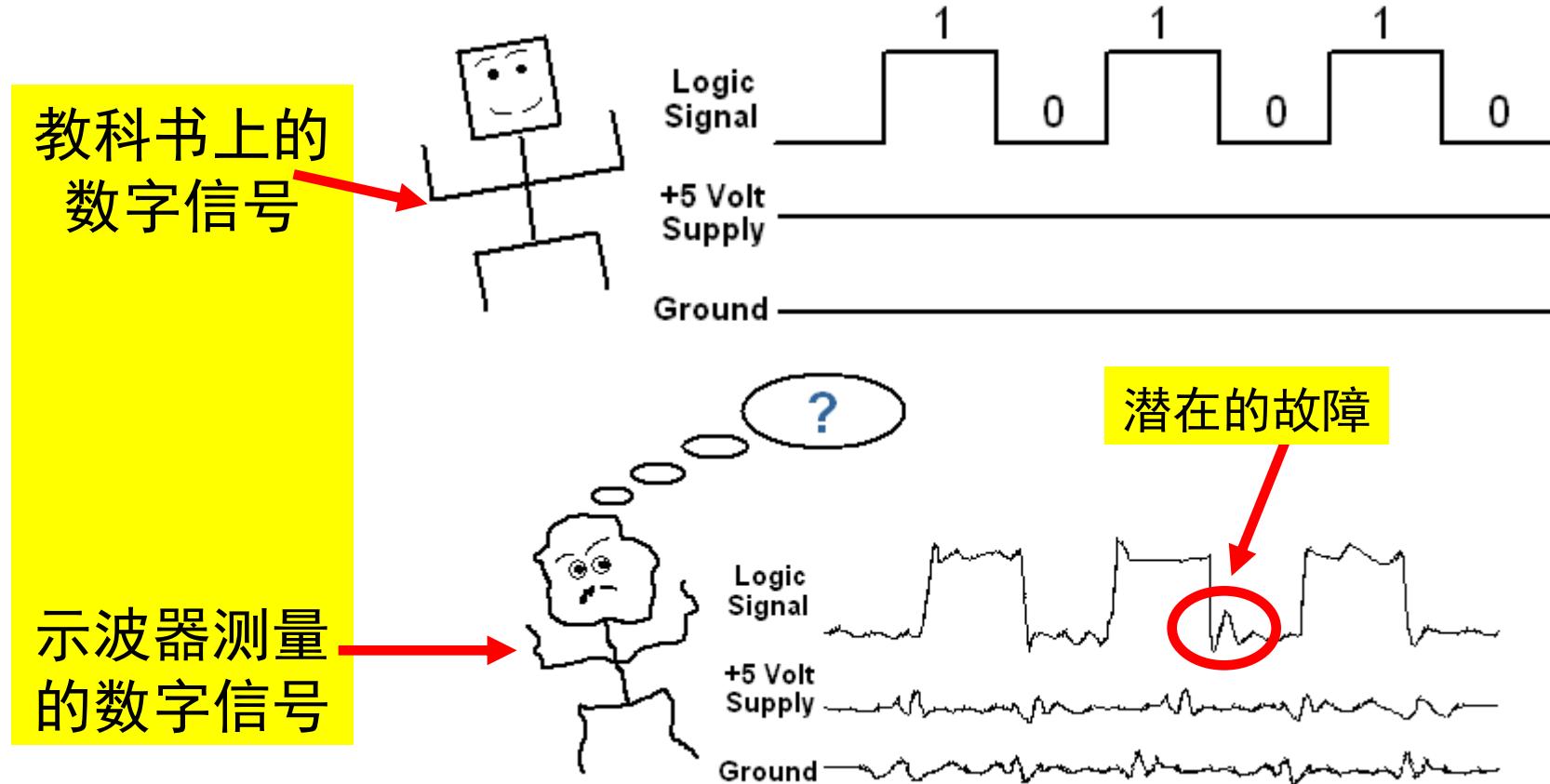
# 高速数字系统设计和调试



泰克DPO示波器+TLA逻辑分析仪+误码仪

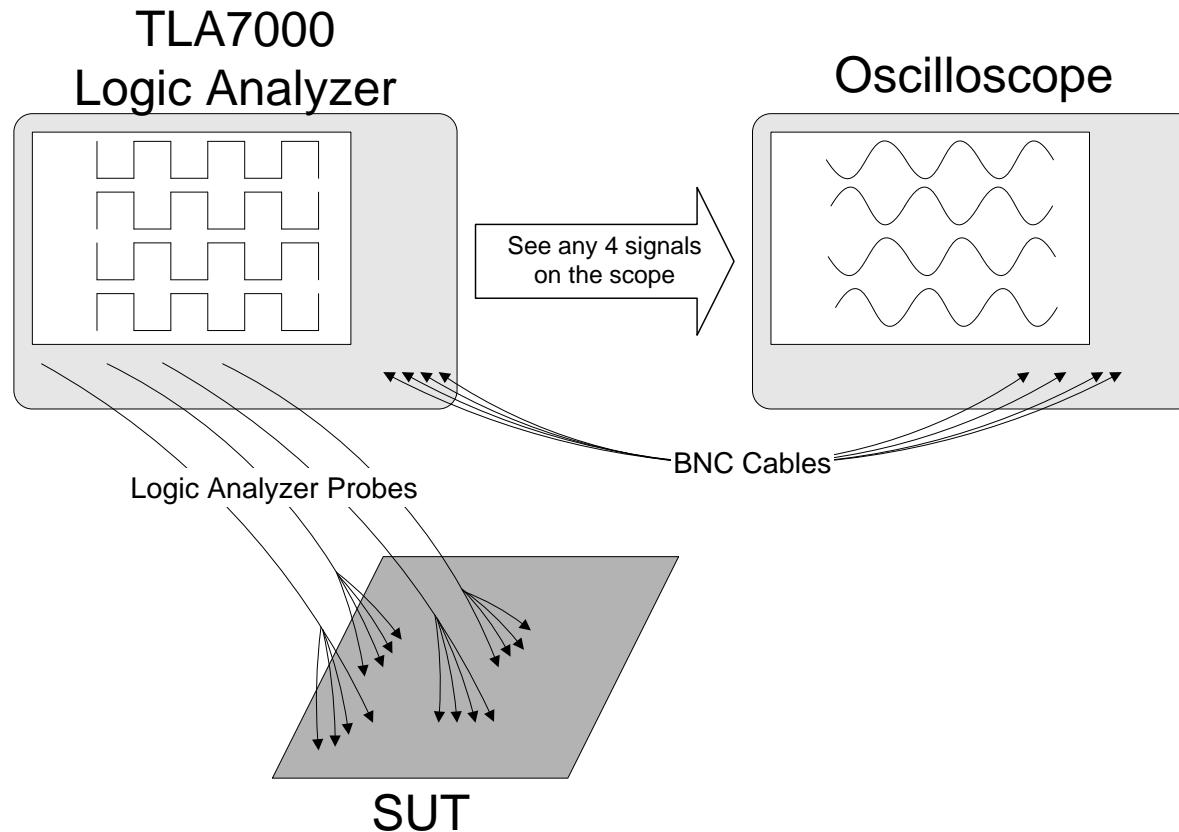
iLink™ 逻辑分析仪工具包

iView™ 技术：快速定位和分析硬件故障

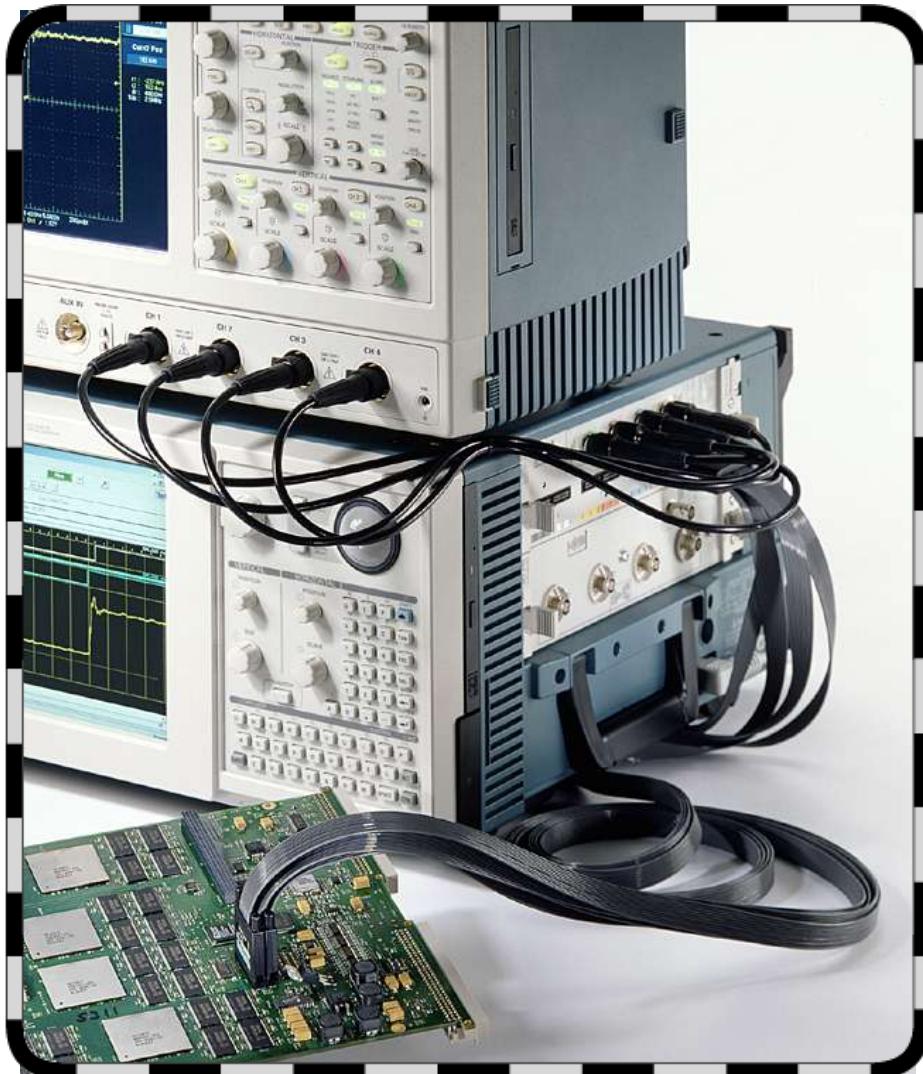


# 逻辑分析仪原理 iCapture: Analog Multiplexer

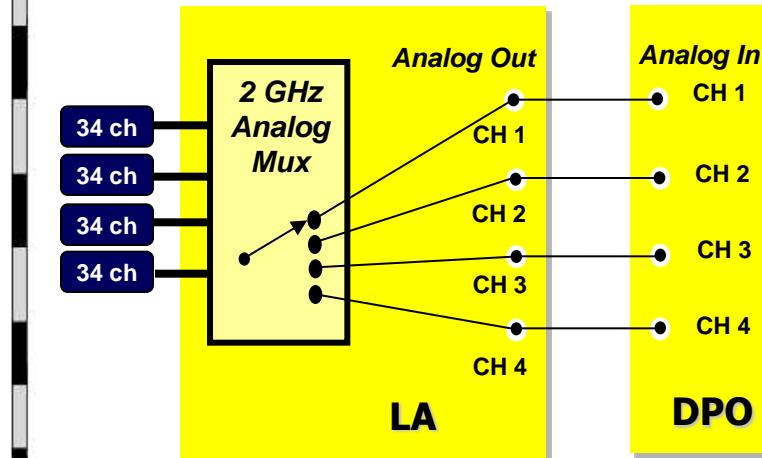
- Analog MUX: iCapture , LA AM选件, 模拟复用
- 不使用示波器模拟探头来获取波形模拟信号
- 同时获取任意四通道的信号而不需要切换更改探头连接



# 逻辑分析仪原理 iCapture: Analog Multiplexer

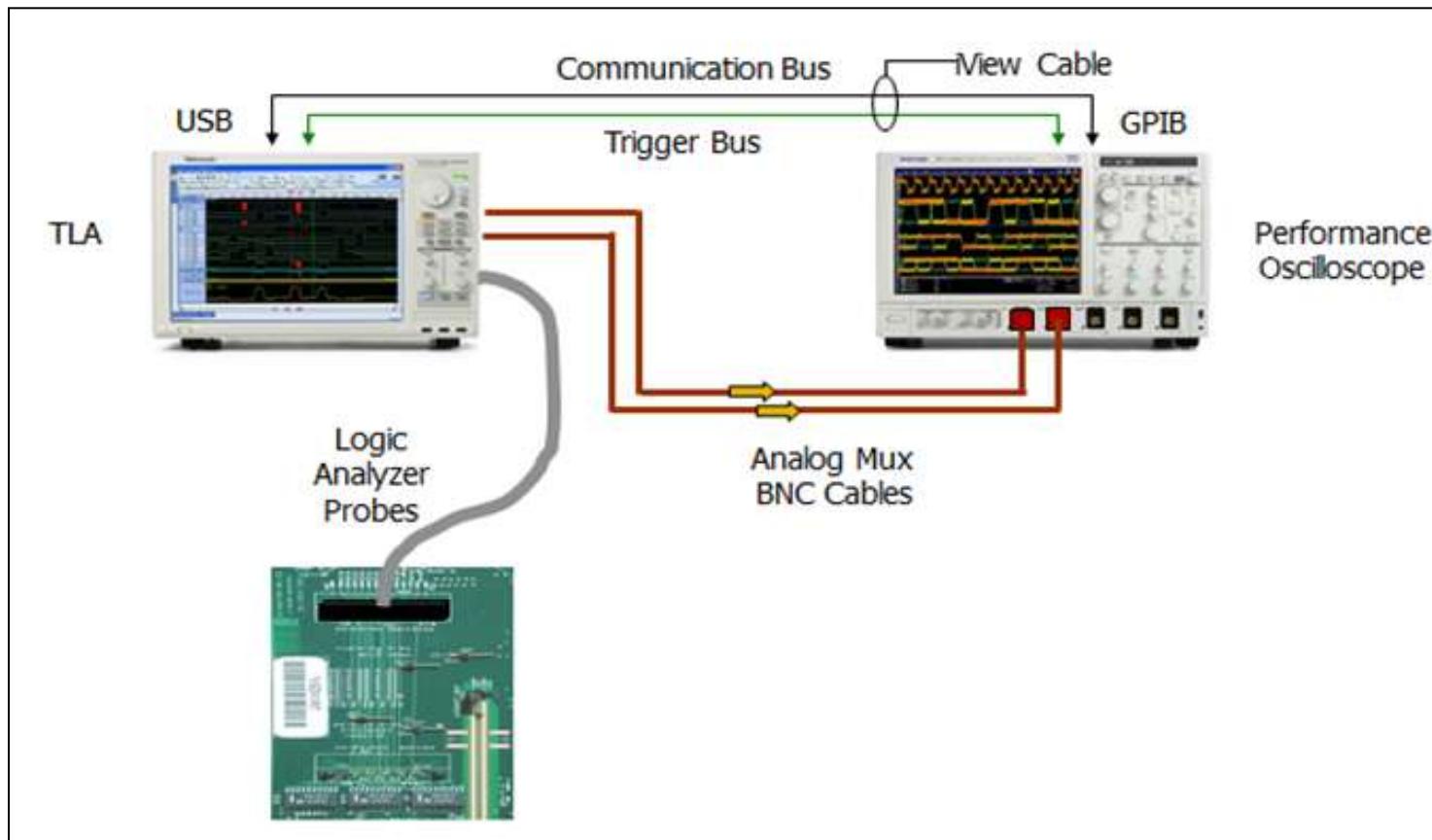


- 单次逻辑探头 probing 信号
- 2 / 3G 模拟探头 (取决于模块、探头)
- 4 of 136 通道逻辑输入复用至四路 BNC 输出口
- 模拟通道信息实时更新



# 逻辑分析仪原理：示波器与逻分联调

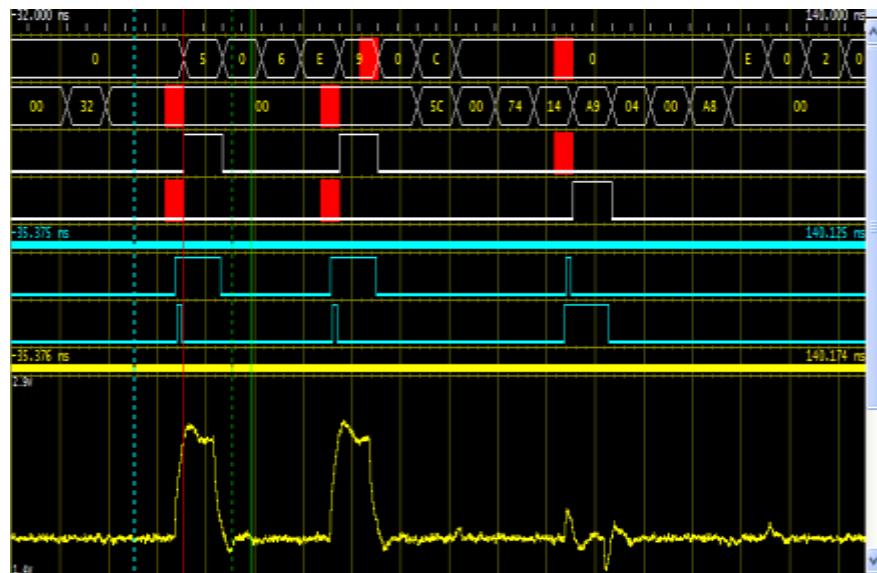
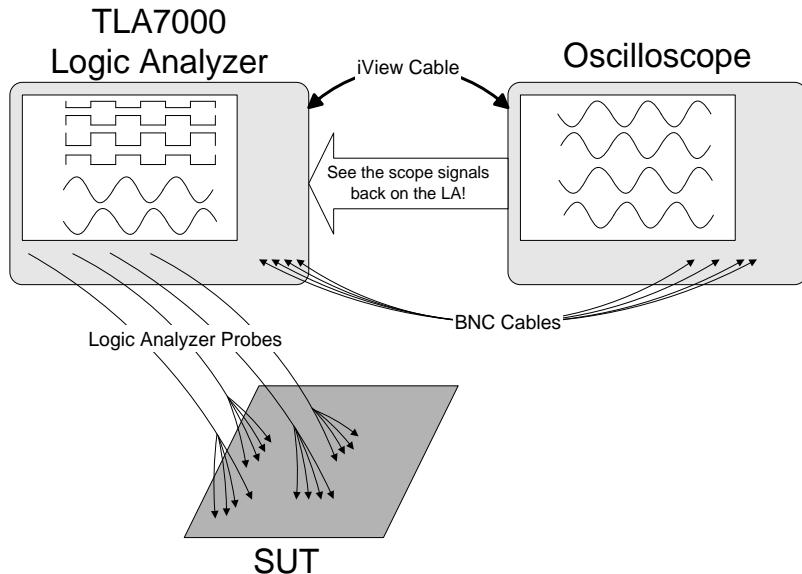
- 与示波器联调
  - 同时在LA界面上观测信号的模拟信息和数字信息
  - 可以通过GPIB、USB、网线等方式连接



# 示波器与逻分联调：模拟参数/逻辑时序联合观测

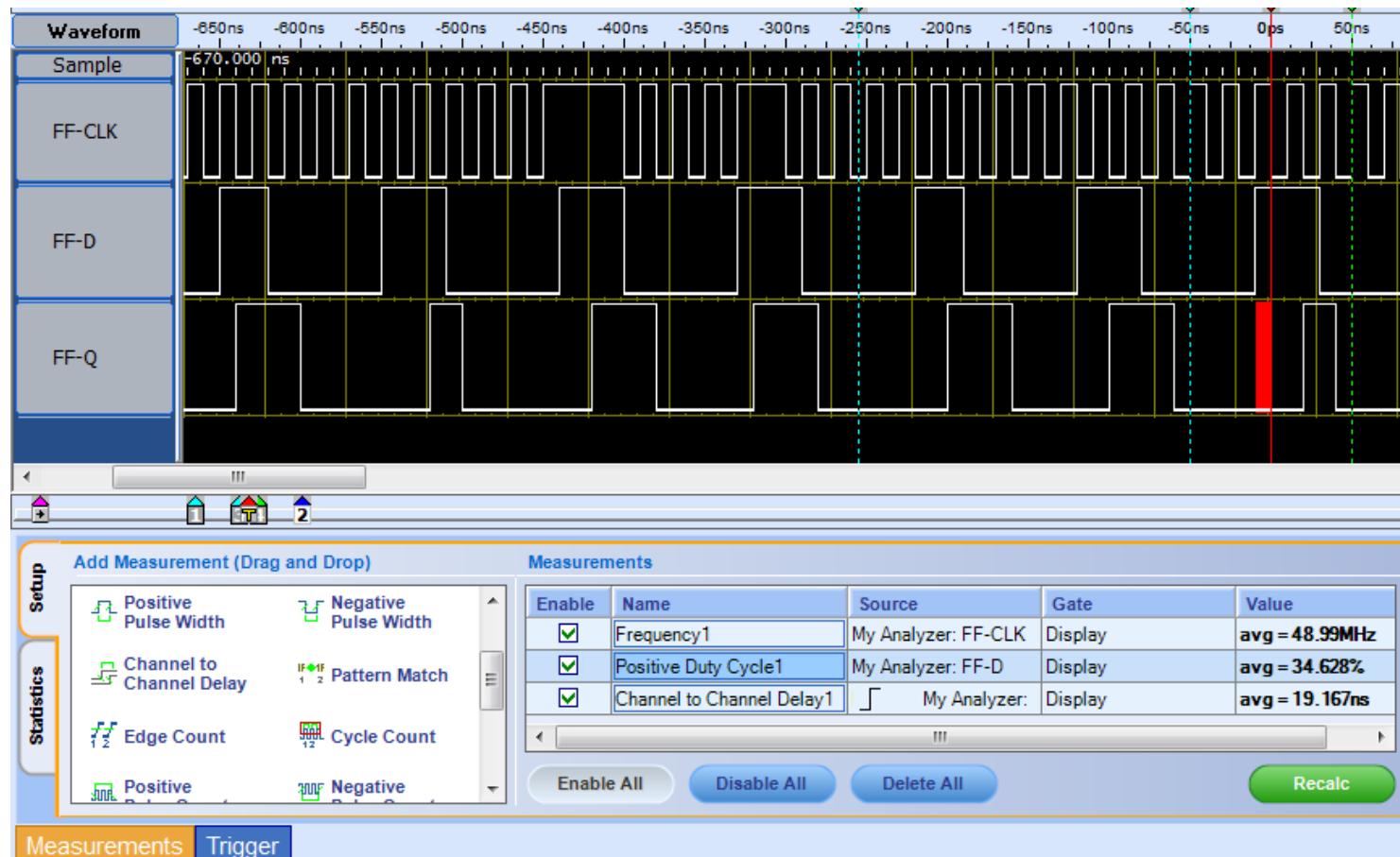
- 与示波器联调

- 同时在LA界面上观测信号的模拟信息和数字信息
- 可以通过GPIB、USB、网线等方式连接



# 逻辑分析仪：像示波器一样自动测量

- 拖拽式自动测量：频率、周期、正负占空比、通道间时延、（边沿、脉冲串、周期、正负向脉冲）计数、违规、周期间抖动



# 逻辑分析仪：最强触发机

- 业内最强状态机：16X16，从任何一个状态可以自由跳转到另一个
- Easy Trigger，简单易用
- Power Trigger，流程图适合复杂定义

EasyTrigger PowerTrigger

Standard Programs

- Simple Events
- Match Events on multiple samples per clock
- Measuring Time and Counting Events
- Simple Events + Time or Count
- Sequence of Events
- Sequence of Events + Time or Count
  - Trigger on A followed by B after N samples
  - Trigger on A followed by B within N samples**
  - Trigger on A followed by glitch within time T
  - Trigger on A not followed by B within N samples
  - Trigger on the Nth channel transition within time T
  - Trigger on the Nth sample after A

Trigger on A followed by B within N samples.

Select Event A and Event B.

Event A: Group, Data, =, 2004, Hex

Event B: Group, Data, =, EE40, Hex

Enter one less than the desired number, N, of samples (eg: for N=100, enter 99).

N-1: 99

EasyTrigger PowerTrigger

Overview

```
graph TD; Run --> State1; State1 --> State2; State2 --> State3; State3 -- T --> State1
```

State 1: On occurrence of A, go to 2

If Group Data = 2004  
Then Go To 2

State 2: If B occurs within N samples, trigger; Else, reset

If Group Data = EE40 And Counter 1 <= 99  
Then Trigger And Go To 3

Else If Group Data = 2004  
Then Reset Counter 1

Else If Counter 1 > 99  
Then Reset Counter 1 And Go To 1

Else If Anything  
Then Inc Counter 1

# TLA6000关键参数

Models	Channels (per module)	State Clock Rate	Record Length (Full CH)	Timing	MagniVu™ Timing
TLA6401	32	333 MHz (std) 667 MHz (opt)	2Mb, 4Mb, 8Mb, 16Mb, 32Mb, 64Mb	1.6 GS/s (all ch) 3.2 GS/s (1/2 ch)	40 ps (25 GS/s) 128 Kb
TLA6402	68	333 MHz (std) 667 MHz (opt)	2Mb, 4Mb, 8Mb, 16Mb, 32Mb, 64Mb	1.6 GS/s (all ch) 3.2 GS/s (1/2 ch)	40 ps (25 GS/s) 128 Kb
TLA6403	102	333 MHz (std) 667 MHz (opt)	2Mb, 4Mb, 8Mb, 16Mb, 32Mb, 64Mb	1.6 GS/s (all ch) 3.2 GS/s (1/2 ch)	40 ps (25 GS/s) 128 Kb
TLA6404	136	333 MHz (std) 667 MHz (opt)	2Mb, 4Mb, 8Mb, 16Mb, 32Mb, 64Mb	1.6 GS/s (all ch) 3.2 GS/s (1/2 ch)	40 ps (25 GS/s) 128 Kb

# 泰克逻辑分析仪产品：TLA7000

- TLA7000逻辑分析仪产品



Mainframe	# Ch/Module	Max # Modules/MF	Max # Chs
TLA7012	68, 102, 136 High-Performance or Mainstream	2	272
TLA7016	68, 102, 136 High-Performance or Mainstream	6	816

Module	Timing resolution	State speed	Memory
TLA7ACx	125 ps (8 GHz)	Up to 800 MHz	Up to 128 Mb
TLA7BBx	20 ps (50 GHz)	Up to 1.4 GHz	Up to 64 Mb

# 泰克逻辑分析仪产品: TLA7000

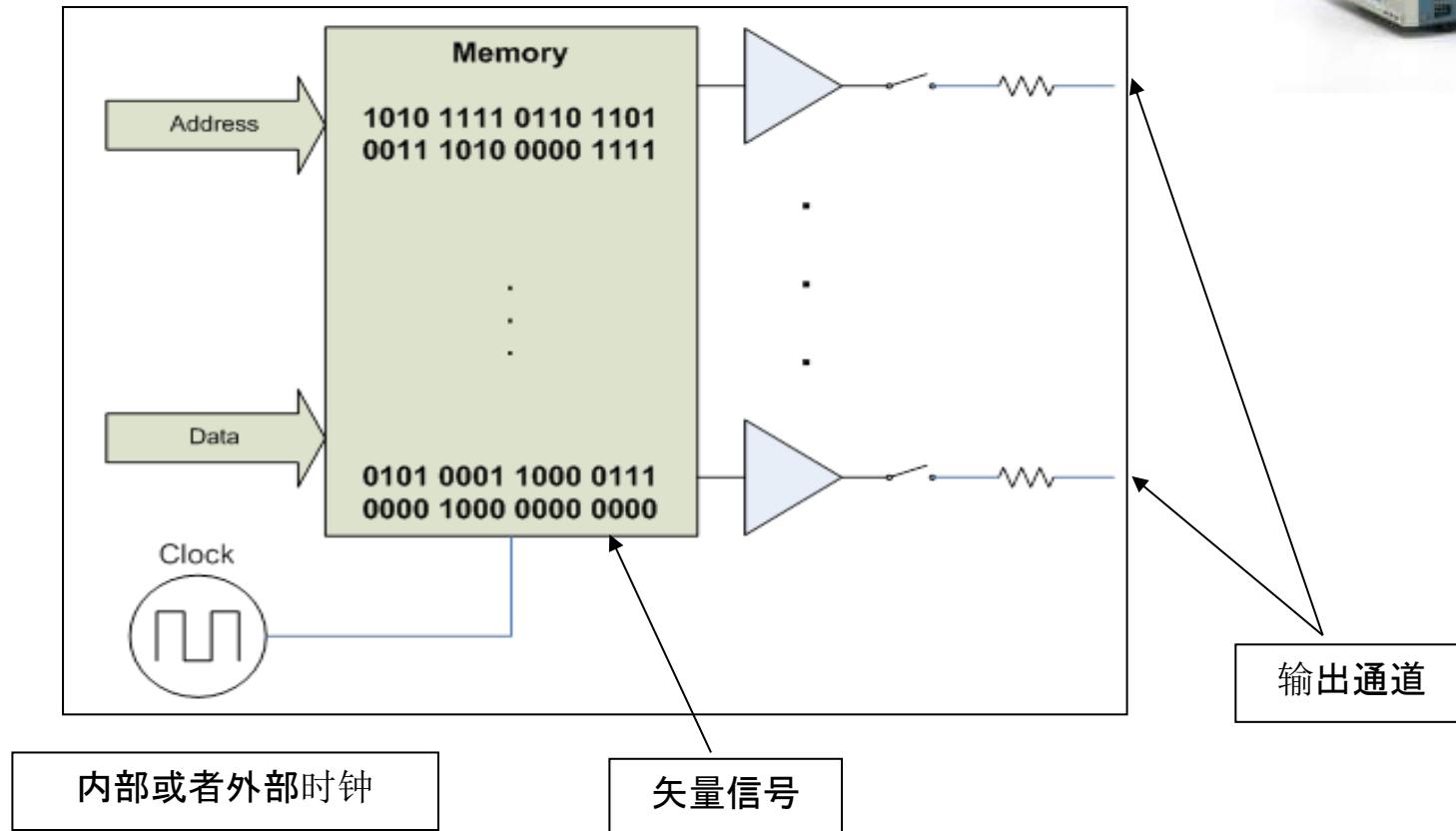


	<b>TLA7ACx</b>	<b>TLA7Bxx</b>
通道数	68, 102, 136	
MagniVu 高速采样率	8 GHz @ 16 kb	50 GHz @ 128 kb
状态时钟速率	235 MHz std; 450 MHz opt	750 MHz std; 1.4 GHz opt.
长内存采样率 (Qtr/Half/Full CH)	500 ps / 1 ns / 2 ns	156.25 ps / 312.5 ps / 625 to 50 ns
存储深度 (Qtr/Half/Full CH)	8/4/2 Mb to 512/256/128 Mb	--/4/2 Mb to --/256/128 Mb
模拟复用器AM: iCapture	2 GHz Bandwidth Any of 136 Ch multiplexed to 4 Analog Outputs Full Control is optional	3 GHz Bandwidth Any of 136 Ch multiplexed to 4 Analog Outputs Full Control is standard
示波器联调功能	iLink: iVerify, iCapture, iView	iLink: iVerify, iCapture, iView
探头支持	All P68xx (Single-Ended, Differential) All P69xx with D-Max™ Technology 0.5 pF (Single-Ended, Differential)	

# 泰克逻辑分析仪产品：TLA7000



- TLA7000其他模块支持：码型发生器
- 什么是码型发生器？输出数字激励 01011001组合



# 泰克逻辑分析仪产品：TLA7000



- TLA7000其他模块支持：码型发生器

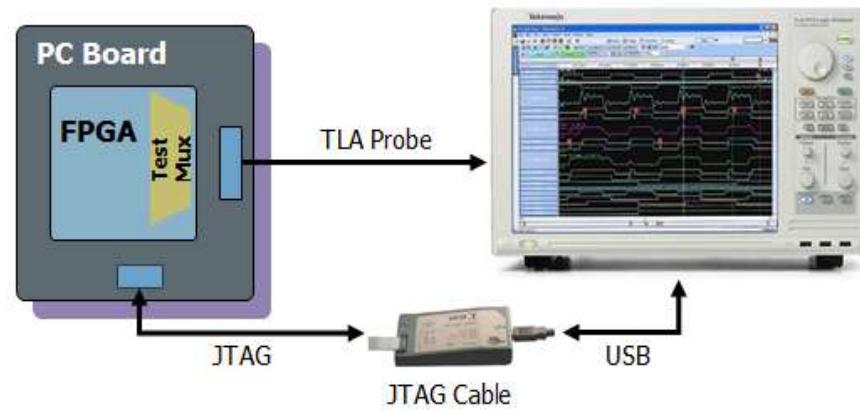
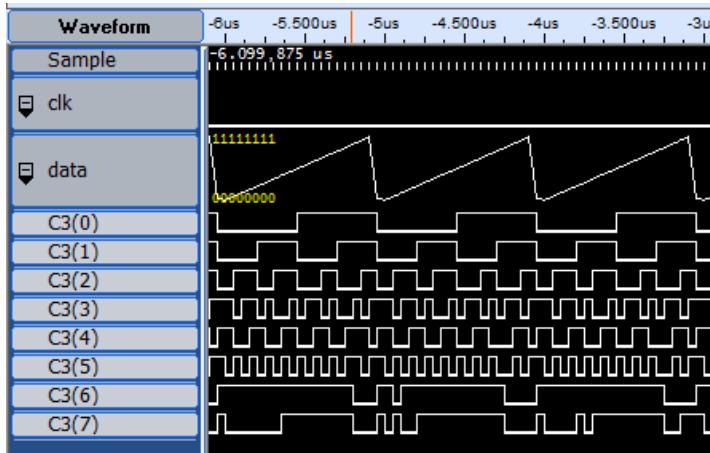
	PG3AMOD	PG3ACAB-B	PG3L
最大输出频率	300MHz, 复用DDR模式可到600M		
通道数	64 (可扩展到256通道)		32
存储深度	32M Vectors		
通道时延	可以调节, 分辨率20ps		
输出电平	取决于适配的探头, 最大到5V		
使用方法	TLA7000 主机模块	外置独立码型发生模块	外置独立码型发生模块
PGapp	安装于个人PC上, 方便码型导入、如自定义txt文件和逻辑采集到的信号回放		



# 泰克逻辑分析仪产品

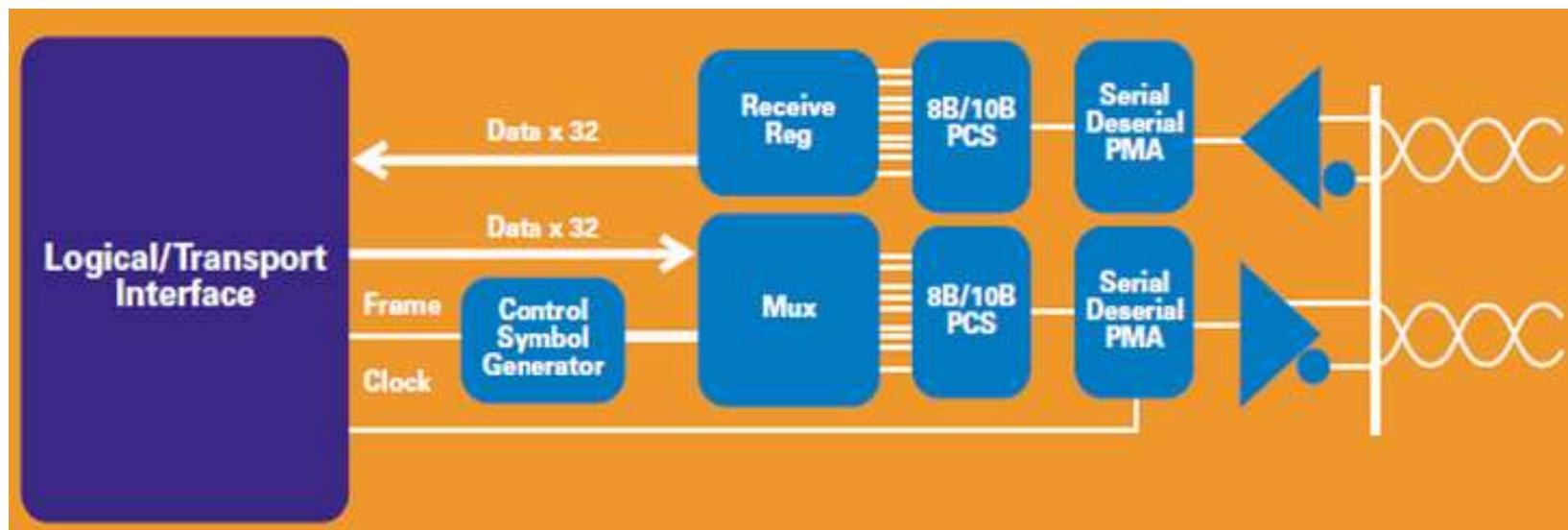
- 应用场景

- 1) 通用数字信号验证
- 2) FPGA/ASIC验证
- 3) ADC/DAC测试



# 嵌入式互联总线RapidIO测试

- 包含：
  - 并行RapidIO 8/16 LP-LVDS, 500Mbps ~ 2Gbps
  - 串行RapidIO 1X/4X, 1.25Gbps ~ 6.25Gbps
- 串行RapidIO基于现在已广泛用于背板互连的SerDes技术，它采用差分交流耦合信号。差分交流耦合信号具有抗干扰强、速率高、传输距离较远等优点。差分交流耦合信号的质量不是由传统的时序参数来衡量，而是通过眼图、抖动等来衡量，眼图中的“眼睛”张得越开则信号质量越好。



# RapidIO/PCIE/1394 高速串行总线发送端测试

- 发送端测试方法:

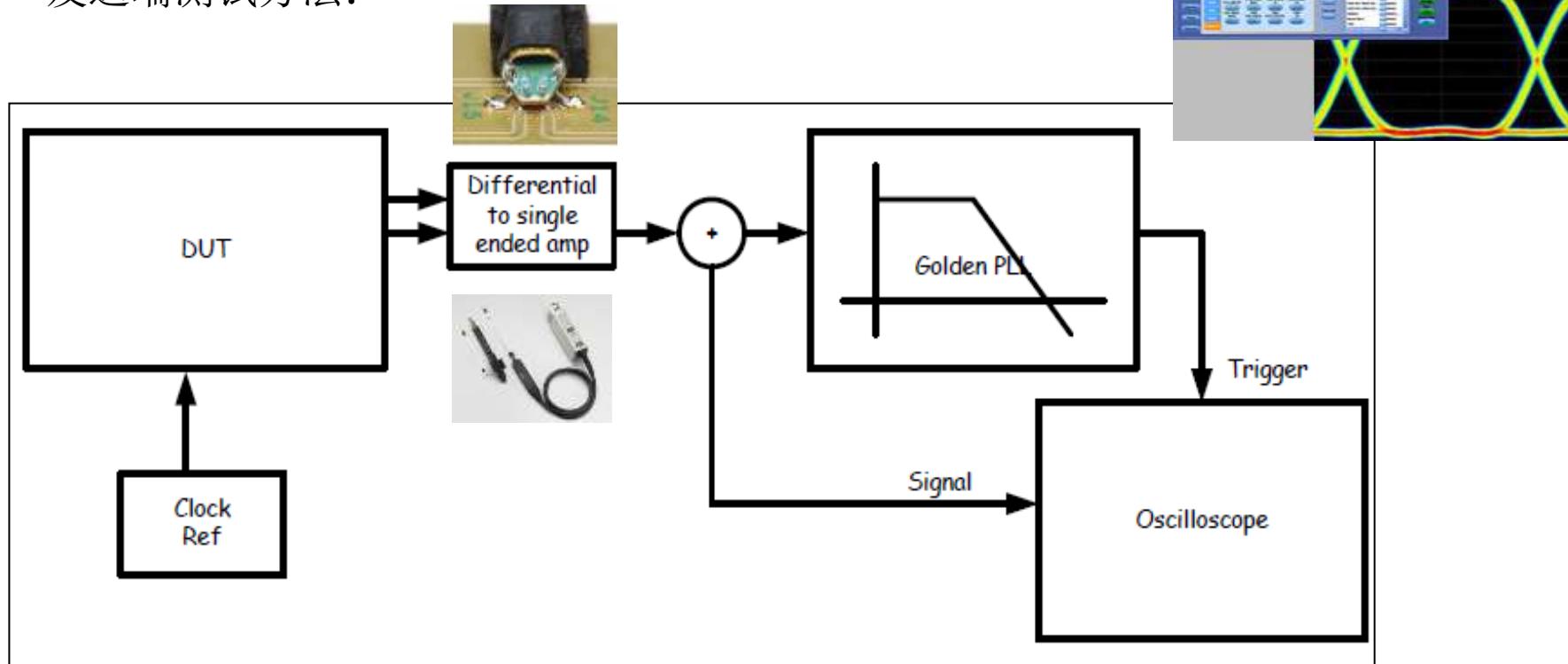


Figure 10-15. Mask Measurement with Golden PLL



# RapidIO/PCIE/1394 高速串行总线发送端测试

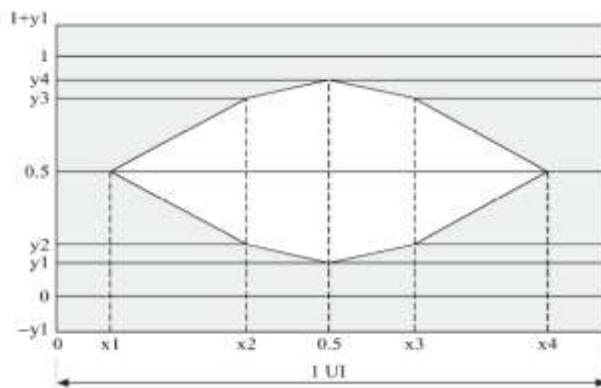
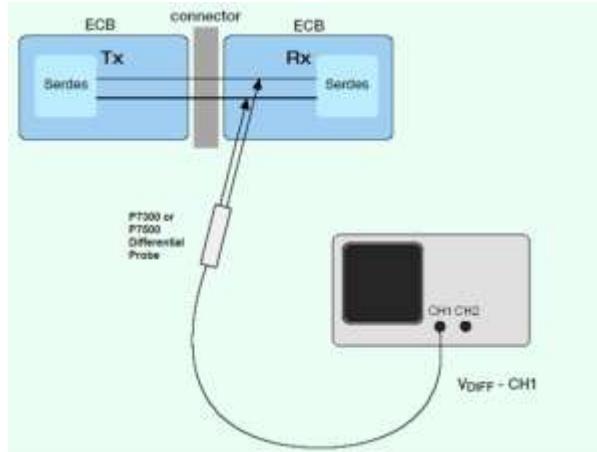


Table 10-25. Level II MR Near-End Template Intervals

Characteristics	Symbol	Near-End Value	Units	Comments
Eye Mask	T_X1	0.15	UI	
Eye Mask	T_X2	0.40	UI	
Eye Mask	T_Y1	200	mV	For connection to short run Rx
		400		For connection to long run Rx
Eye Mask	T_Y2	375	mV	For connection to short run Rx
		600		For connection to long run Rx
Uncorrelated Bounded High Probability Jitter	T_UBHPJ	0.15	UIpp	
Duty Cycle Distortion	T_DCD	0.05	UIpp	
Total Jitter	T_TJ	0.30	UIpp	

# RapidIO/PCIE/1394 高速串行总线发送端测试

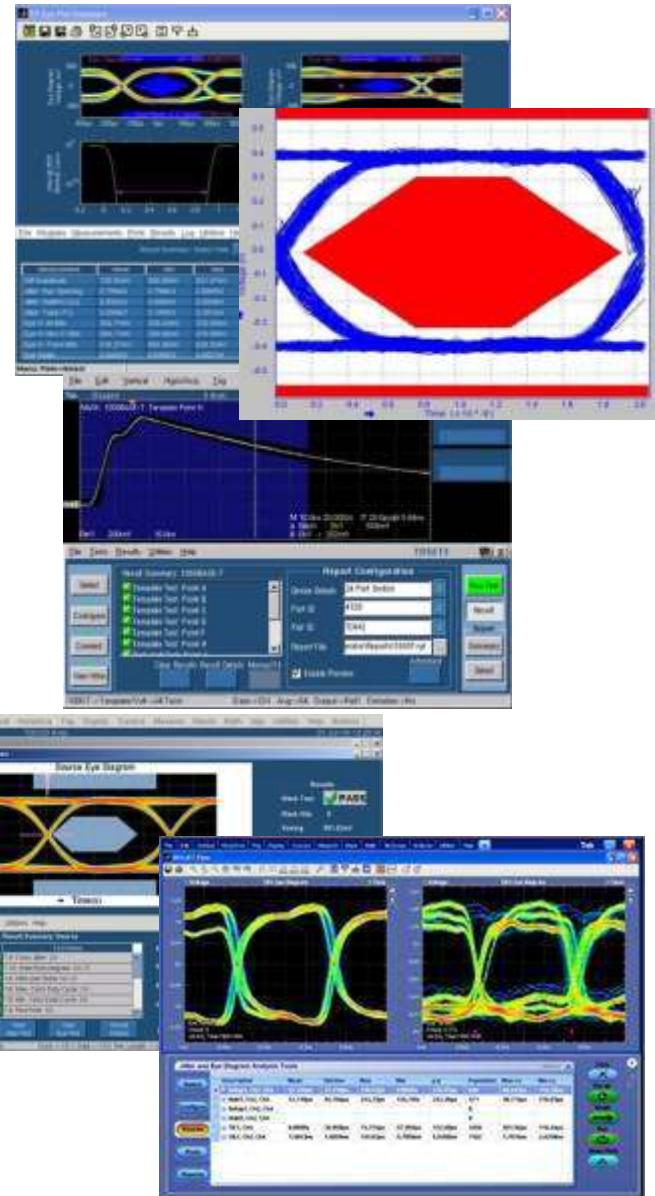
- 8B10B解码触发: RapidIO/PCIE/1394



# 最佳洞察力

## 串行数据：全面的一致性测试

- 泰克一致性测试软件支持多种高速串行标准
  - USB1.0, 2.0, 3.0, 3.1
  - HDMI 1.3, 1.4, 2.0
  - DisplayPort 1.2
  - MIPI (D-phy, M-phy and etc)
  - DVI
  - WiMedia一致性测试
  - 10/100/1000/10GBase T以太网一致性测试
  - PCI Express一致性测试模块
  - InfiniBand一致性测试模块
  - FB-DIMM一致性测试模块
  - SATA分析模块
  - SAS 12G分析模块
  - Fibre Channel模板和极限
  - XAUI (10GbE CX-4)模板和极限
  - 串行快速I/O模板和极限
  - DDR3/DDR4 分析和解码
- 串行数据链路分析
  - 均衡, 通道, 发射机



# 对应各种标准的示波器带宽推荐

高速应用标准	数据率	推荐示波器带宽	泰克对应示波器型号
100 GbE	4 X 28-32 Gb/sec	19-23 GHz on 4 ch	DPO73304D
DisplayPort 1.1	2.7 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
DisplayPort 1.2	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
Fibre Channel 16G	16 Gb/sec	25 GHz	DPO72504D
HDMI 1.4	3.4 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
Inifiniband 14G	14 Gb/sec	22 GHz	DPO72504D
MIPI D-PHY	1 Gb/sec	3.5 GHz	DPO7354C
MIPI M-PHY HS Gear 1	1.5 Gb/sec	6 GHz	DPO70604C
MIPI M-PHY HS Gear 2	3 Gb/sec	8 GHz	DPO70804C
MIPI M-PHY HS Gear 3	6 Gb/sec	20 GHz	DPO72004C
PCI Express 1.0	2.5 Gb/sec	6 GHz	DPO70604C
PCI Express 2.0	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
PCI Express 3.0	8 Gb/sec	16 GHz	DPO71604C
PCI Express 4.0	16 Gb/sec	32 GHz	DPO73304D
SAS 6G	6 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
SATA III	6 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C
Thunderbolt	10 Gb/sec	33 GHz for Si Design	DPO73304D
		20 GHz for System Design	DPO20004C
USB 2.0	480 Mb/sec	2.5 GHz	DPO7254C
USB 3.0	5 Gb/sec	12.5 GHz	DPO71254C

# BERTScope

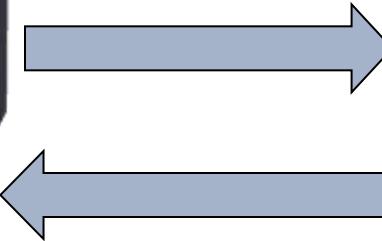
针对计算机系统和通信串行数据的应用而设计，同时集成误码仪和示波器的仪器。

1

Pattern Generator产生特定的比特码流，例如. PRBS 码型；信号可以被施加压力



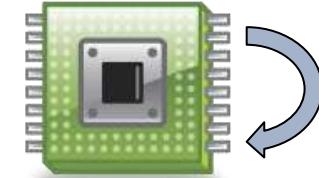
从带压力的Pattern Generator输出



到 Error Detector



loopback



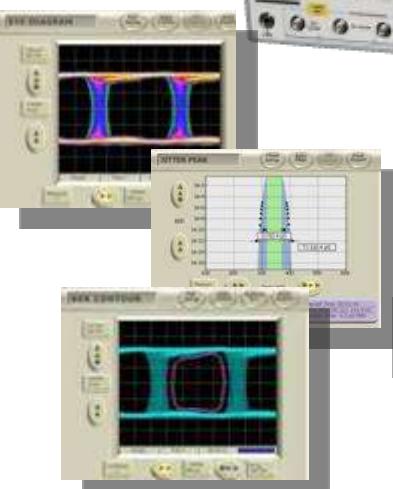
被测芯片/被测系统  
有源/无源

2

比特码流从DUT输出到Error Detector比较以进行BER测量

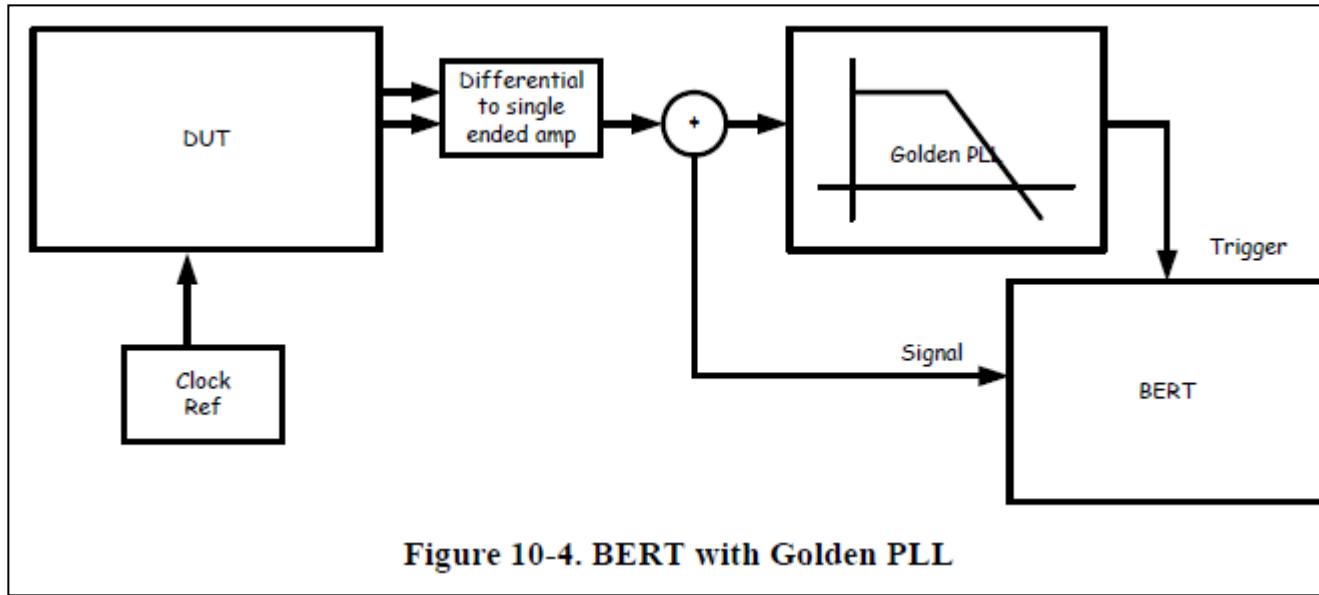
3

进行BER测试，也能像示波器一样进行分析



# 嵌入式互联总线RapidIO接收端测试

- 误码率和抖动容限测试 By 泰克Bertscope



## 8.5.4.2 Level II Bit Error Ratio

The LP-Serial 5Gbaud and 6.25Gbaud interface lanes will operate with a Bit Error Ratio (BER) of  $10^{-15}$  (with a test requirement to verify  $10^{-12}$ ). See Clause 2 of CEI for more information on the jitter model and how to measure BER.

# PCIe 3.0 接收机测试

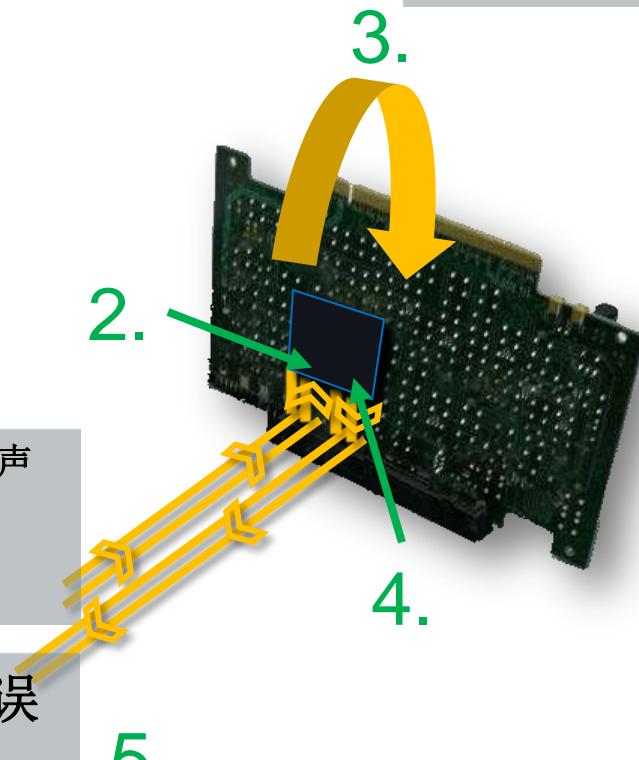
待测物  
**Loopback**回环  
模式

1.

码型发生器带抖动和噪声

误码检测器测试误  
码和抖动容限

5.



接收机测试包含下面几部分：

1. 码型发生器送出带抖动噪声的差信号给待测的接收机
2. 接收机收到该信号, 判定当前位置是0还是1
3. 芯片或者待测物回环, 将该比特数据回传给发送端
4. 发送端将收到的比特信息发出给误码检测器
5. 误码检测器接受信号, 判定是否有错误

测试接收机之前要保  
证发送端测试通过

# PCIe 3.0 接收机测试：规范示意

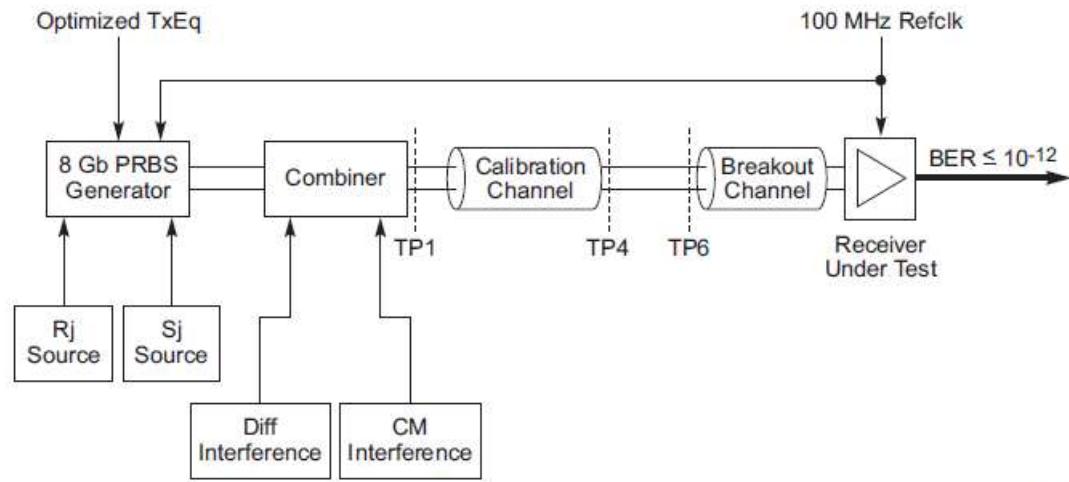


Figure 4-72: Layout for Stressed Voltage Testing of Receiver

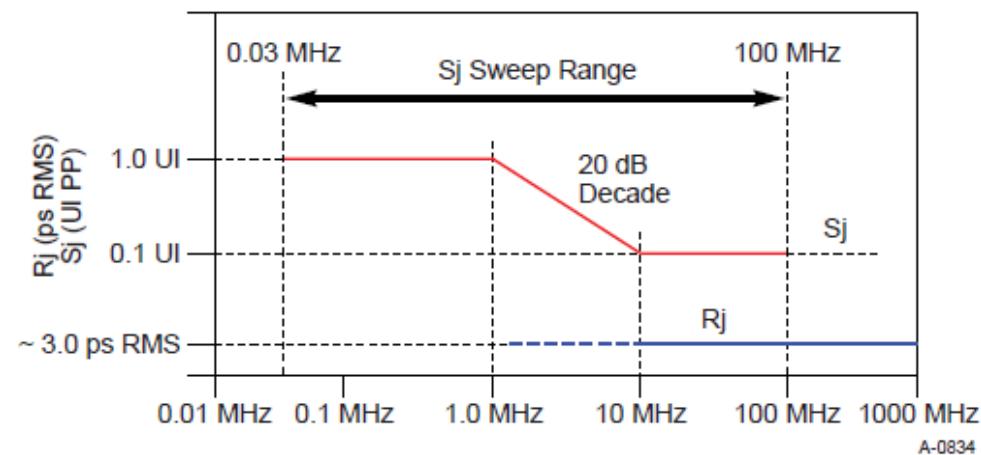
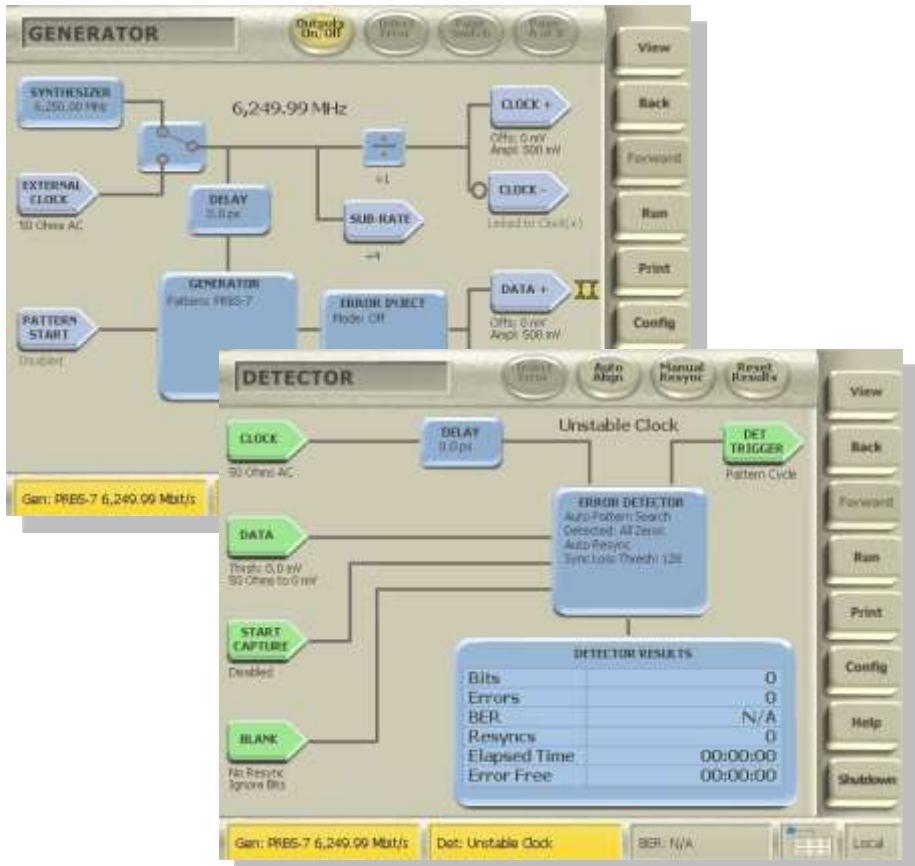


Figure 4-74: Swept Sj Mask

# BERT基本功能

- 码型发生器(PG)
  - 业内最高速可加压码型发生器: **26Gbps**
  - 业内最深的延迟线, 产生幅度更大的抖动
- 误码检测器(ED)
  - 精确高达100fs的延迟线, 业内唯一 BERT可支援PRBS31抖动分离的黄金参考 (option J-MAP)
  - 专利的Dual ED构架, 快速准确完成眼图、抖动测量
  - 快速比特同步
- 时钟恢复器(CR)
  - 业内最高速的仪器级CR: **28.6Gbps**
  - 业内参数设置最全的CR: 连续调谐 Loop BW/Peaking
  - 外置模块、配置灵活

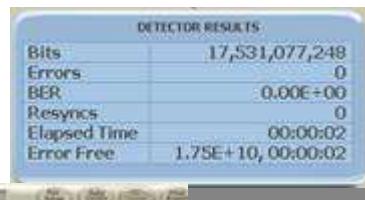


Beyond the BERT...

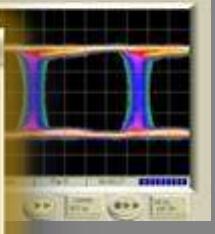
# BERTScope工具集



**BER**



**Eye Diagram**



**BER Contour**

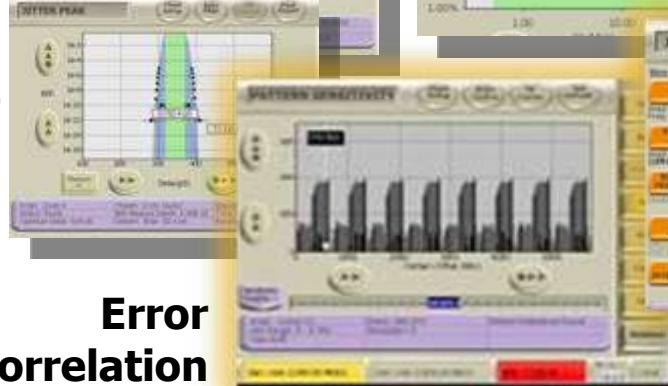


**Jitter Tolerance**

**Q Factor**



**Jitter**



**Error Correlation**

BERTScope 将眼图、抖动、信号发生和信号损伤集成在一起，简单易用，而且有和误码仪一样的测深度和精度

**Jitter Decomposition**



# BERTScope系列产品概览



## BERTScope

- 主要产品BSA系列
- BERT和示波器的结合，基于BER的分析、测试平台
- 主要应用于高速串行和通信的芯片、系统测试

- 28.6G
- 17.5G
- 12.5G

## Clock Recovery

- 配合BERT和示波器使用，也可单独作为时钟恢复仪
- 抖动测量

- 28.6G
- 17.5G
- 12.5G

## Bitanalyzer

- 基本的误码仪和示波器
- 最低码速率100K，适合于卫星通信应用

- 1.5G/1.6G

## Pre-Emphasis

- 配合BERTScope码型发生器使用
- 提高输出加重以克服通道损耗

- 12.5G

# 小结——泰克的宽带解决方案

- 接收机测试——基于任意波形发生器的宽带/超宽带信号仿真平台
- 发射机测试——实时频谱分析仪应对165MHz以内的应用；示波器（宽带接收机）和专用分析软件结合，应对宽带/超宽带信号测试
  - 将时域测试贯穿于今天流行的随时间变化的RF信号测试中
- 数字信号分析——示波器和专业的串行信号分析工具组成数字串行分析仪应对高速信号挑战，任意波形发生器可提供高速激励；逻辑分析仪和示波器联合组成的测试系统以及数字定时发生器应对并行信号测试
- 误码测试——业内最好的误码仪和时钟恢复

谢谢您的关注！

接下来：各种高速串行接口的最新规范以及测试方法

