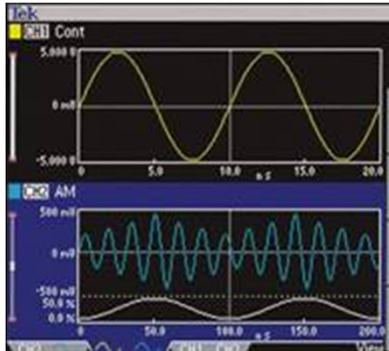


Tektronix™

复杂电磁环境下的雷达系统和通信系统的信号模拟和分析



苏水金

泰克科技（中国）有限公司

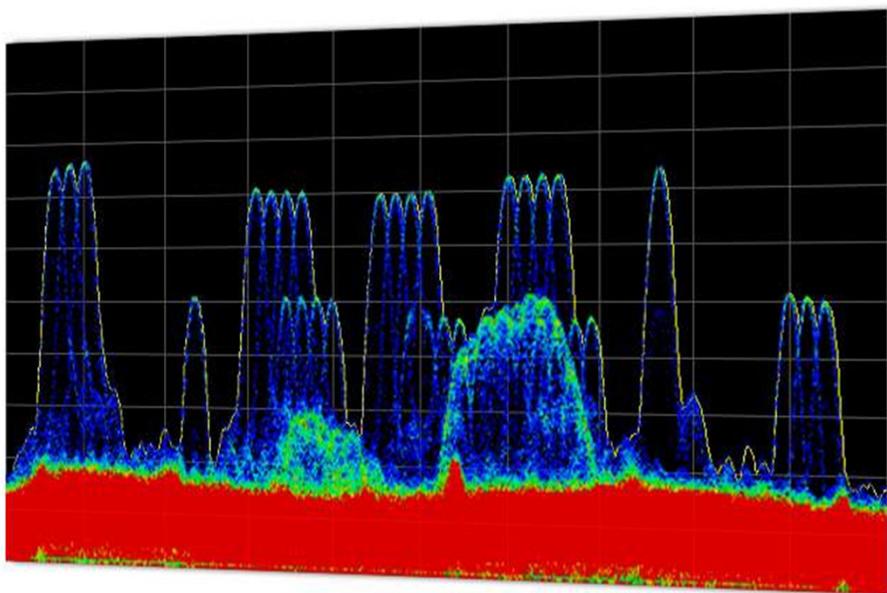


议程

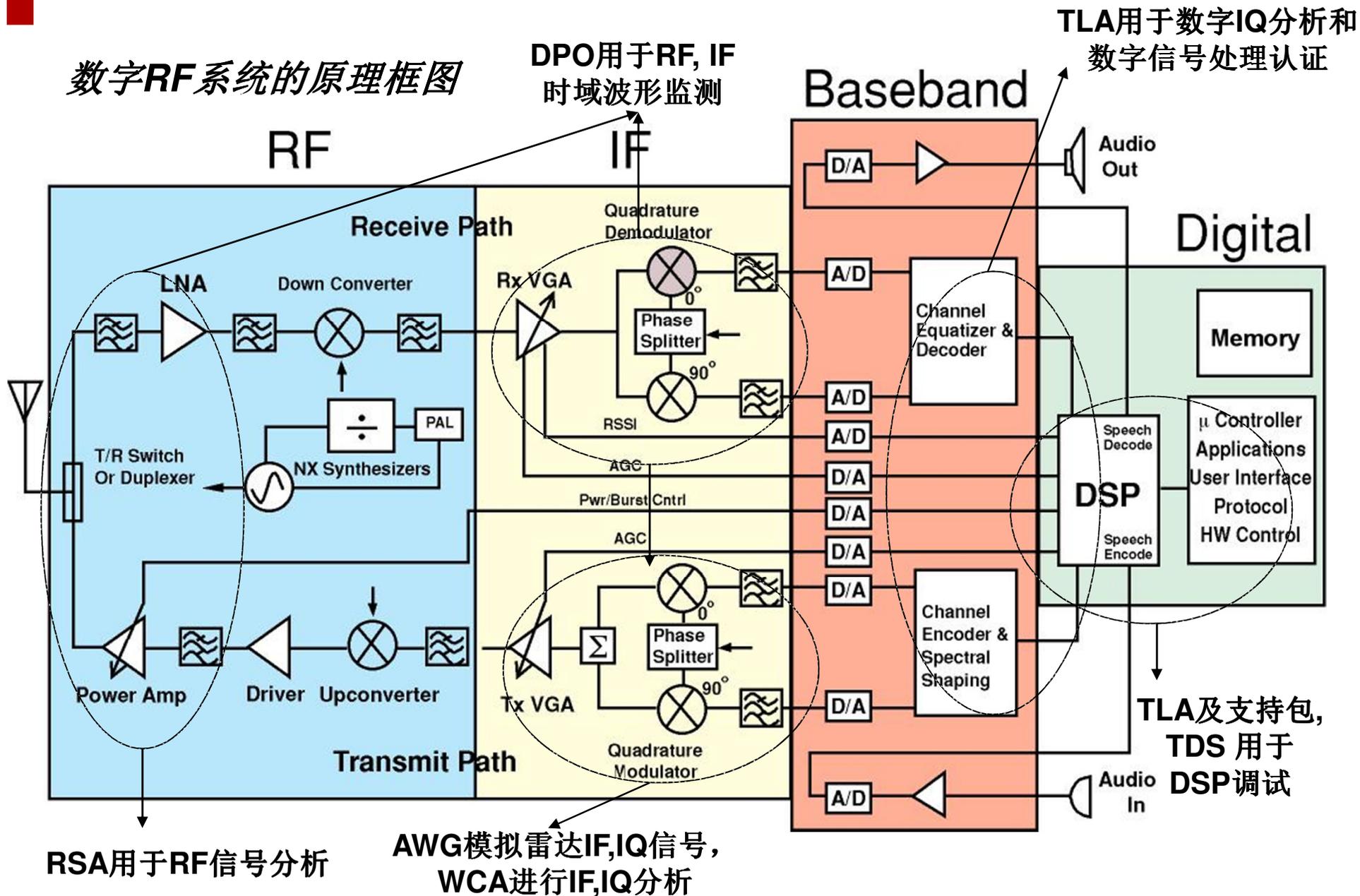
- 数字RF信号的测试挑战
- 新一代数字RF信号仿真平台
- 新一代数字RF信号分析平台
- 各种仪器互联组建完整解决方案

复杂电磁环境的定义

- 时间上突发多变
- 频率上拥挤重叠
- 能量上高低分布
- 方向上纵横交错

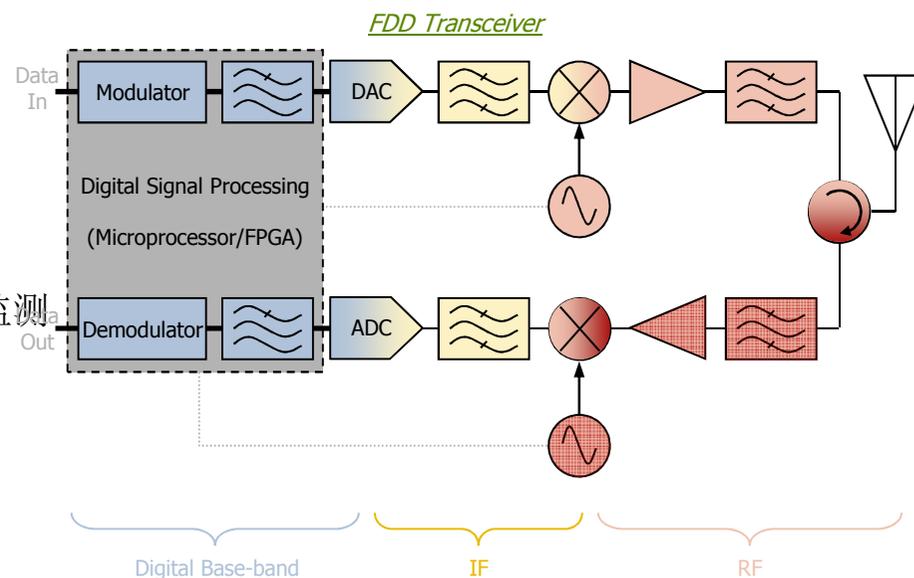
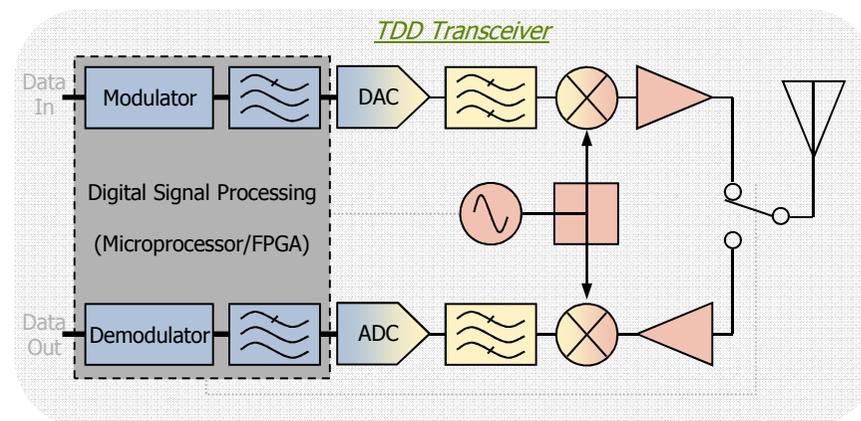


数字RF系统的原理框图



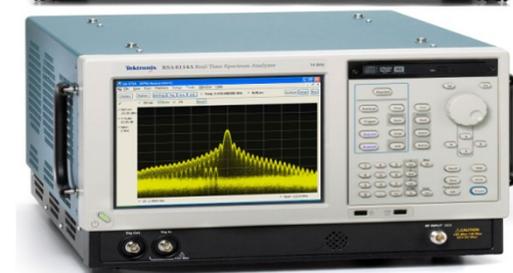
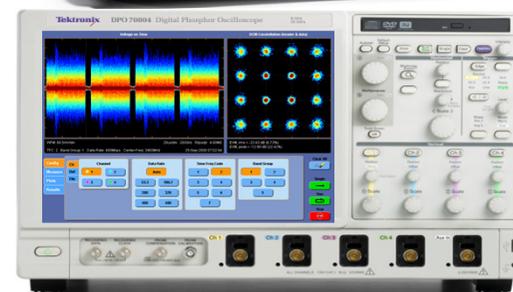
数字RF信号的测试挑战

- 接收部分测试——信号源
 - 标准测试——标准信号难以产生，通常需要专用信号源或者信号产生系统
 - 极限测试——令人头痛的“实际信号”模拟
- 发射部分测试——接收机
 - 通用信号接收
 - 传统频谱仪？没有时间信息
 - 矢量信号分析仪？分析带宽、信号定位.....
 - 专用接收机
 - 宽带、超宽带接收
 - 专用接收机
 - 示波器——带宽足够，可是没有频谱监测功能

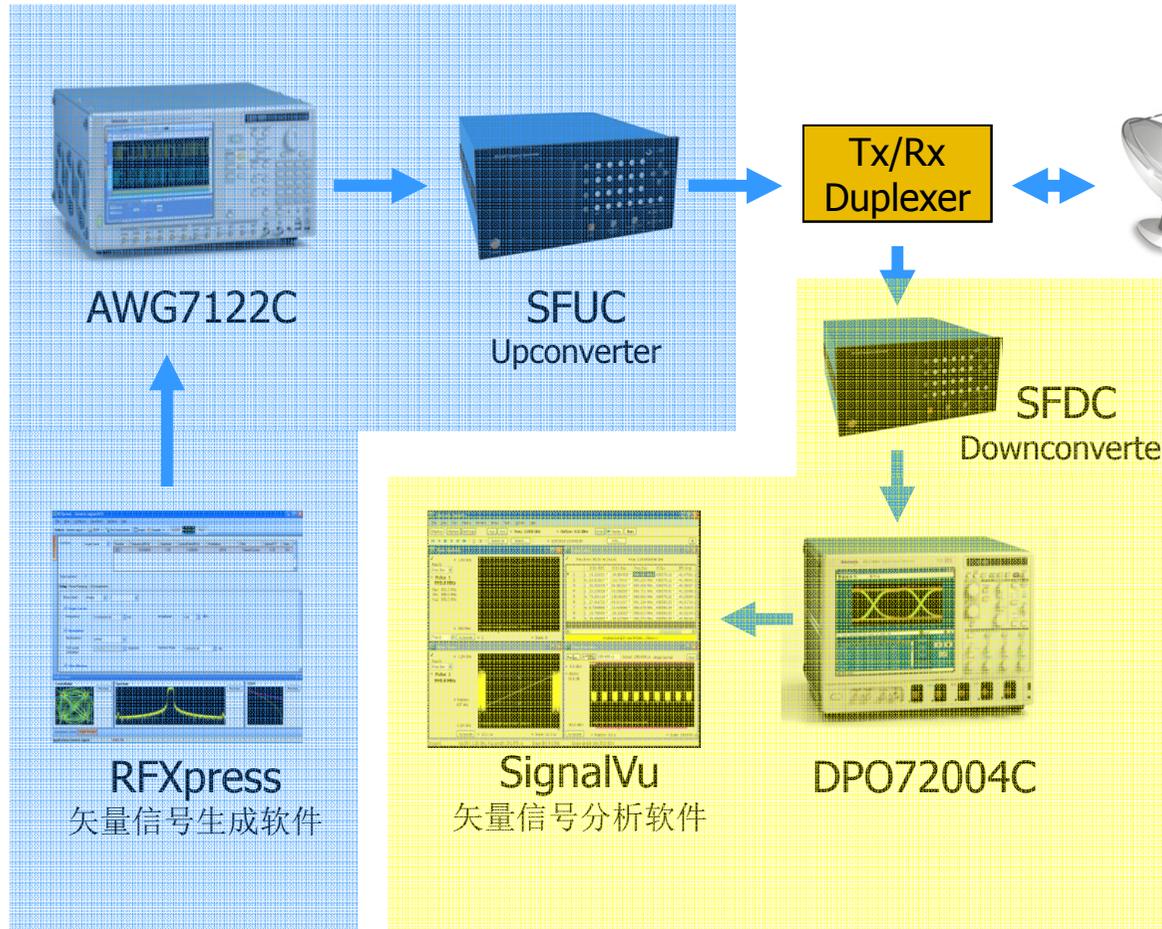


泰克新一代数字RF信号仿真和分析方案

- 信号源
 - 特别适于复杂信号、宽带调制、脉冲信号产生的混合信号源——任意波形发生器AWG
 - 逻辑信号源：码型发生器和数据时序发生器
- 接收设备
 - 集频谱分析、矢量信号分析、脉冲分析和频谱监测功能于一身的实时频谱分析仪
 - 超宽带接收机——通用仪器唯一的解决方案——宽带示波器+分析软件
- 数据处理部分调试设备
 - 逻辑分析仪+示波器的综合测试系统
 - FPGA调试设备



Tektronix宽带矢量信号系统应用框图

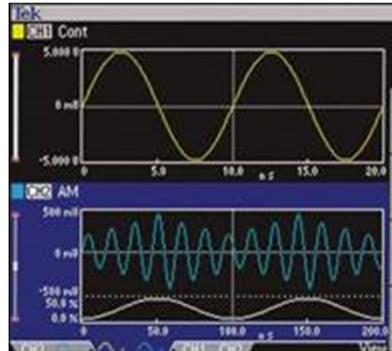


- 完整闭环测试系统
- 支持全环路幅相一致性自动校准
- 支持双通道
- 支持各种现代体制通信及雷达信号产生及分析
- 系统组成简单，使用方便快捷，易于维护

信号源类型

- 频域和时域信号源
 - RF信号发生器
 - 扫频源
 - 频率综合源
 - 噪声发生器
 - 脉冲发生器
 - 数据、码型发生器
 - 函数发生器
 - 任意函数发生器
 - 任意波形发生器
- 基于DDS的任意波形发生器：高性能、易用的全能信号源

任意波形发生器为**复杂激励**提供完善的解决方案



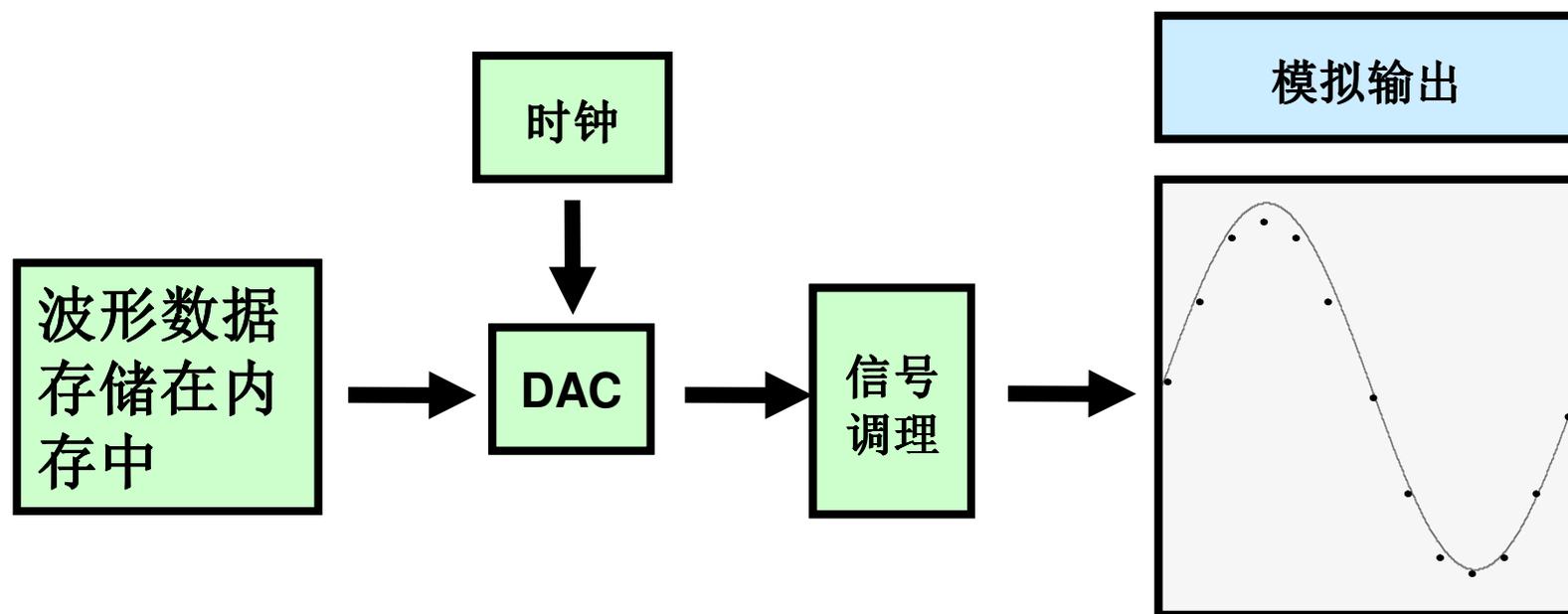
任意波形发生器——一种在未来不可或缺的信号源

- 任意信号发生器的几个用途
 - 产生基带IQ信号
 - 产生中频/射频信号
 - 混合模拟/数字测试
 - 产生多路信号
 - 替代一些传统信号源（如函数信号产生器）
 - 替代一些定制信号源（如特殊脉冲发生器、雷达模拟信号，低频相位标准等）
- 任意信号发生器能输出“现实世界”各种信号
 - 信号加扰的产生:插入噪声、毛刺、交调等
 - 模拟复杂的信道



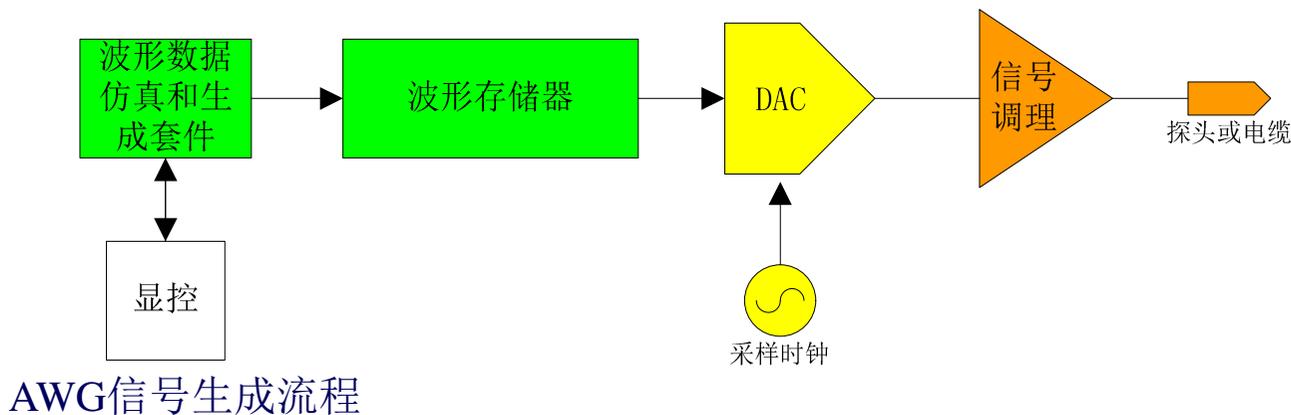
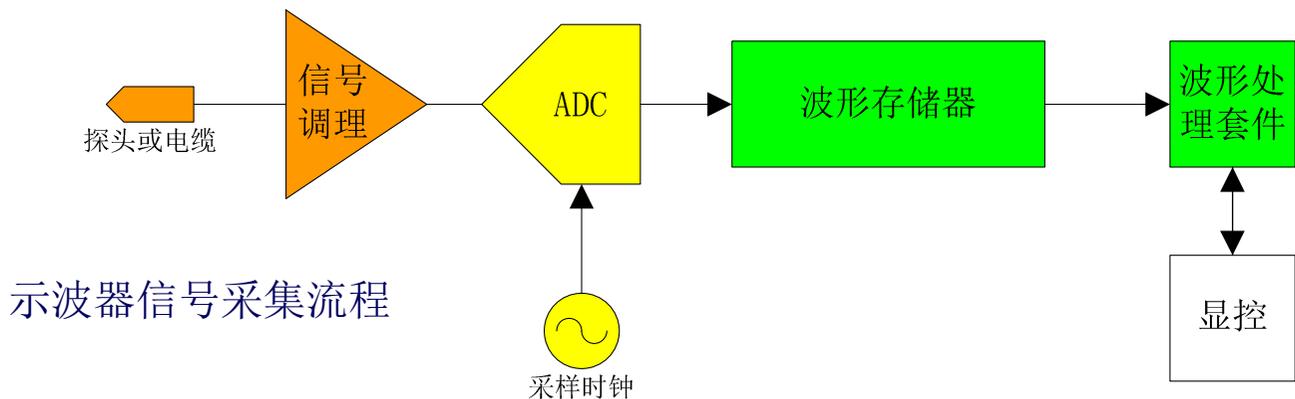
AWG如何生成波形？

- AWG生成波形类似于CD播放器
 - 存储在光盘上数字信息被读出，转换成模拟波形最后通过扬声器输出。



AWG工作原理

- AWG可以被认为是示波器(信号分析仪)的逆过程



示波器可以捕获任何其指标范围内的信号

AWG可以产生任何其指标范围内的信号

新一代数字RF仿真和分析平台

AWG70001A



AWG70001A – One Channel Arbitrary Waveform Generator		
Maximum Sample Rate	32 GS/s interleaved	50 GS/s interleaved
Maximum Frequency	12.8 GHz	20.0 GHz
DAC Resolution	10 bits	
Waveform Memory	Standard: 128 MSamples: Optional 16GSamples	
Dynamic Range (SFDR)	< - 50 dBc	

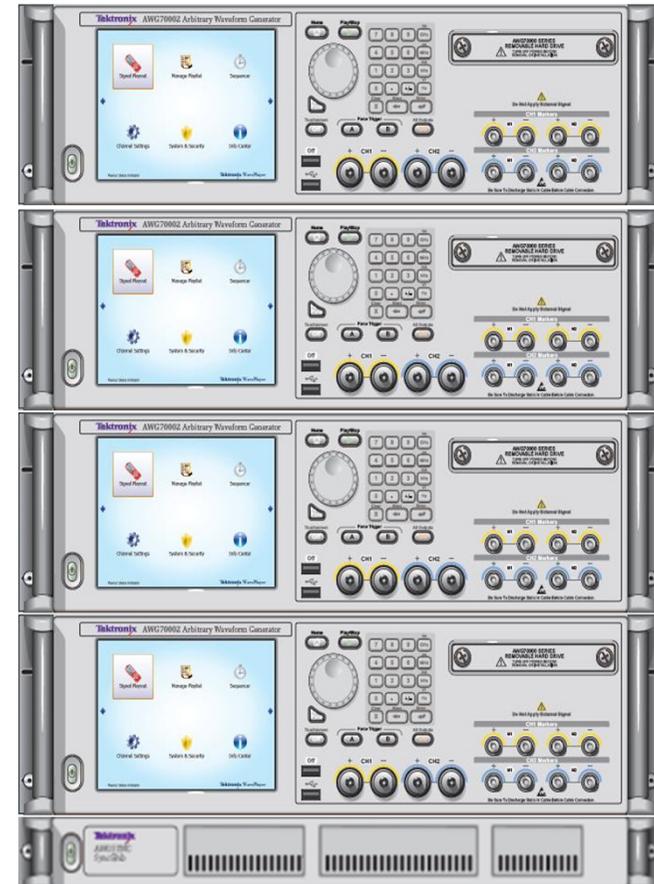
AWG70002A



AWG70002A – Two Channel Arbitrary Waveform Generator			
Maximum Sample Rate	8 GS/s	16 GS/s	25 GS/s
Maximum Frequency	3.2 GHz	6.4GHz	10.0 GHz
DAC Resolution	10 bits		
Waveform Memory	Standard: 128 Ms per channel: Optional 8 Gs per channel		
Dynamic Range (SFDR)	< - 60 dBc		

Synchronization

- Up to four instruments (8 channels)
 - Instruments - master (1), slave (3)
 - Same configuration instruments
 - AWG70002A - 2 channel (shown)
 - AWG70001A - 1 channel
- Channel to channel synchronization
 - Coherent outputs
- What are your requirements?
 - Trigger Uncertainty
 - Channel to Channel Skew



AWG7000C: 全球首屈一指的任意波形发生器

AWG7000C	AWG7122C		AWG7082C	
采样率	12 GS (24GS by Interleave)		8 GS	
输出上升时间/带宽 (3dB)	35 ps, 7.5GHz (option 02 /06)		NA	
最高序列长度	16,000			
垂直分辨率	8bit或10bit可选			
波形长度要求	X4 (x8 : 复用模式)	X4		
最高有效射频输出带宽	9.6GHz@24GS/s	4.8GHz@12GS/s	2.4GHz	2.4GHz
最大波形长度	64M点 (AWG7122C复用模式下128M点)			
时延校准范围和精度	±100 ps , 1ps步进			
仪器类型	独立式			

AWG5000C: 基带和通用应用

				
	AWG5014C	AWG5012C	AWG5004C	AWG5002C
Maximum Sample rate	1.2GS	1.2GS	600MS	600MS
Maximum Waveform Length	16M points/ch, 32 M points / ch (option)			
Analog Channels	4	2	4	2
Vertical resolution	14 bit			
Digital (Marker) channels	8 (2/ch)	4 (2/ch)	8 (2/ch)	4 (2/ch)
Digital Data output (Ch1 & Ch2)	NA	28 (option)	NA	28 (option)

使用AWG产生信号的方法

- 只要能用数学模型表示的信号，只要在AWG的指标范围内，都可以使用AWG来直接生成
- 任何数据生成软件，如Matlab程序、用户自编脚本、泰克提供的专用信号生成工具，甚至写字板等，都可以作为AWG信号数据的来源
- 其它设备采集的数据，如示波器的时域信息、逻辑分析仪的码型或者实时频谱分析仪采集的频域数据均可在AWG上回放
- 内置的高级RF信号生成软件可以直接设置参数生成各种RF信号，方便、快捷

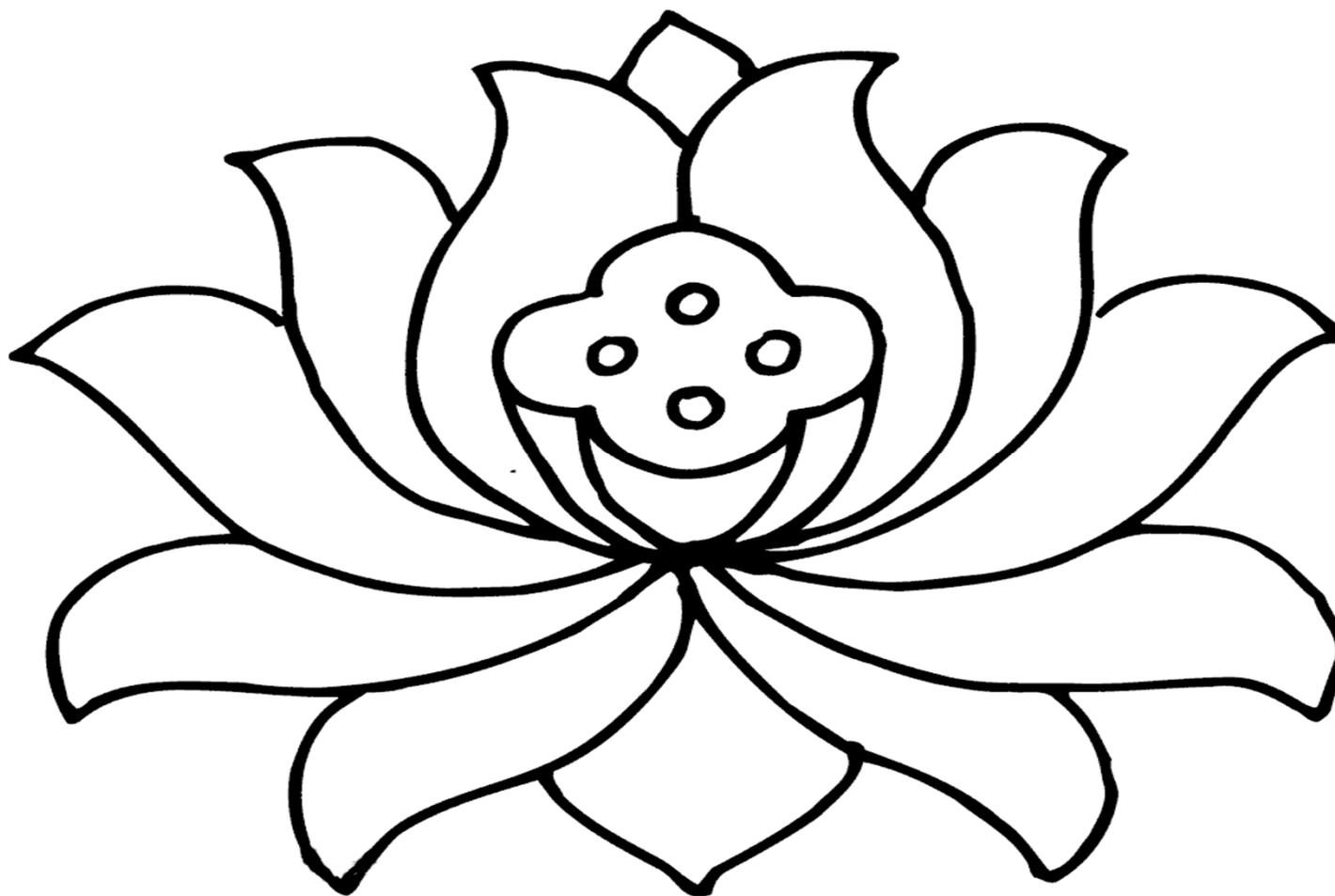


使用AWG产生 tektronix logo

Tektronix

www.tucao.com

使用AWG产生 莲花 信号



使用AWG发出美女 信号

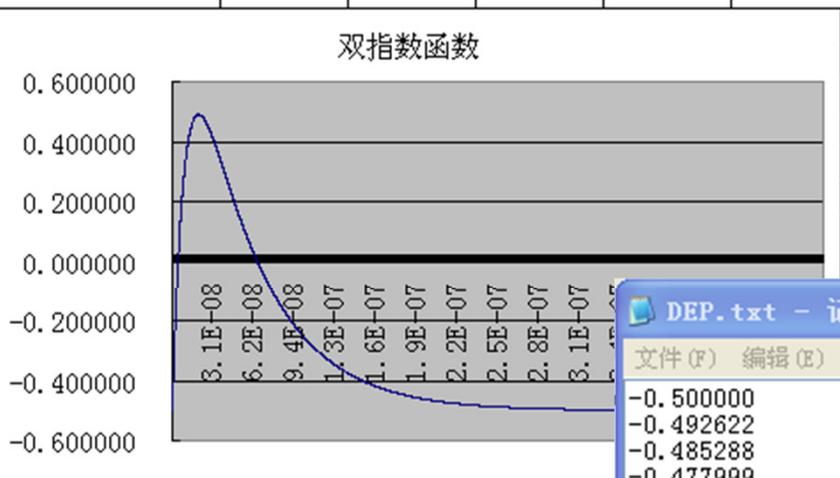


AWG应用实例之一——产生脉冲信号

- 一种在放电、电磁脉冲测试等物理实验中常见的信号——双指数函数
- 信号模拟工具：MS Excel
- 使用txt文件为媒介，将数据导入AWG
- 调整归一化参数
- 设置合适的采样率和输出幅度
- 点击运行并输出

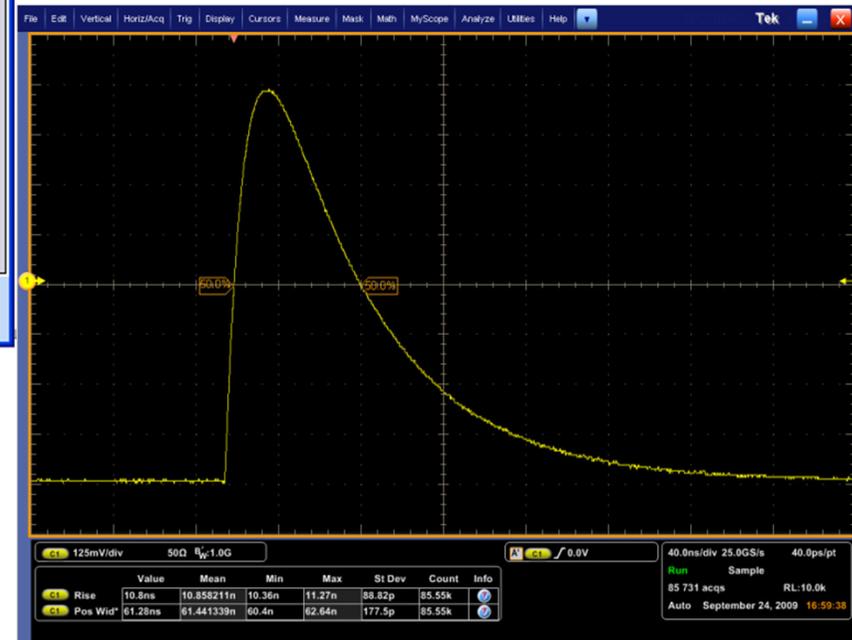
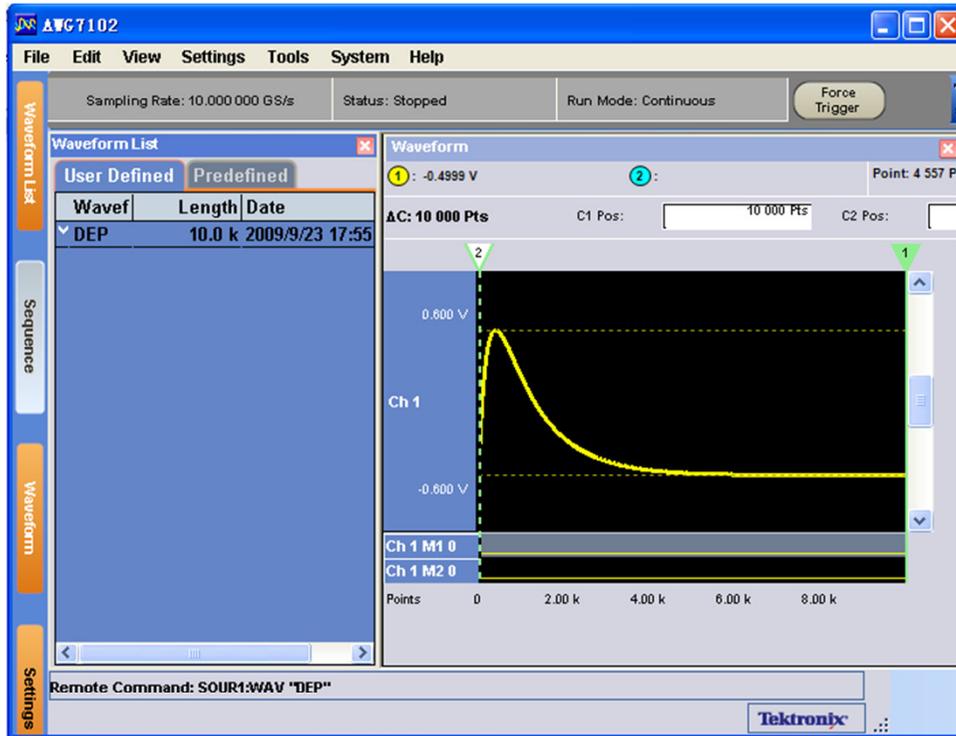
产生数据

样点序号	样点值
0	-0.500000
1	-0.492622
2	-0.485288
3	-0.477999
4	-0.470753
5	-0.463550
6	-0.456391
7	-0.449275
8	-0.442201
9	-0.435171
10	-0.428182
11	-0.421236
12	-0.414332
13	-0.407469
14	-0.400648
15	-0.393868
16	-0.387130
17	-0.380432
18	-0.373775
19	-0.367158



```
DEP.txt - 记事本
文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)
-0.500000
-0.492622
-0.485288
-0.477999
-0.470753
-0.463550
-0.456391
-0.449275
-0.442201
-0.435171
-0.428182
-0.421236
-0.414332
-0.407469
-0.400648
-0.393868
-0.387130
-0.380432
-0.373775
-0.367158
-0.360582
-0.354045
-0.347549
```

确认数据正确并设置输出参数，得到信号

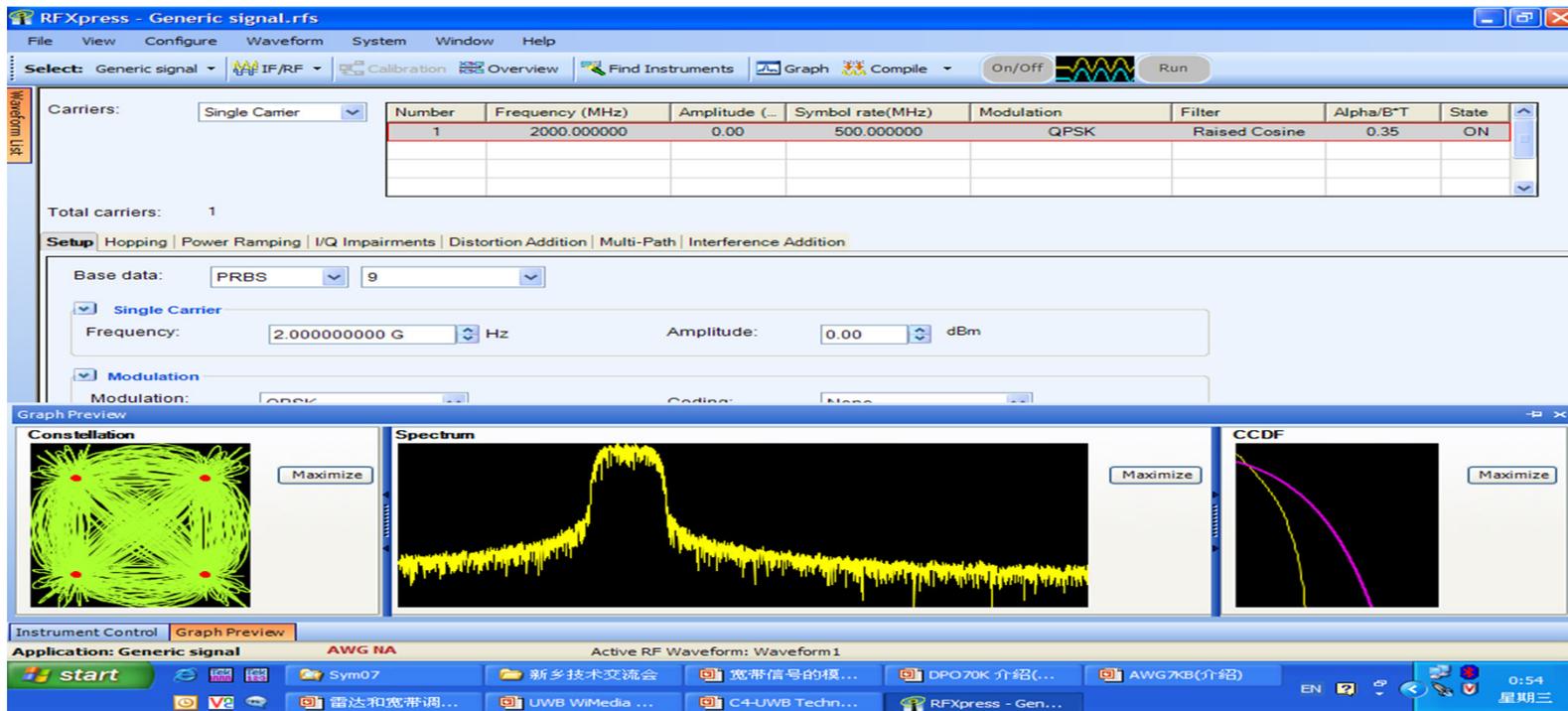


实例二：使用AWG产生调制宽带射频信号——宽带数字调制信号

- 主要应用
 - 卫星通信
- 挑战
 - 传统信号源应用于这一领域时，无论是调制还是脉冲无线电，用户常常难以得到所需的带宽。用户一般需要庞大昂贵的信号源系统或定制的专用激励源才能得到部分宽带性能
 - 传统上，矢量调制信号是基带源和矢量调制器配合产生的，在通用仪器的解决方案中，这种方式可以实现的最高调制带宽在2GHz以内，而且仍然需要一台高性能（采样率2.5GS/s以上）任意波形发生器作为基带源。泰克的任意波形型发生器可以直接输出最高瞬时带宽超过6GHz的调制信号而不需要基带源和调制器，是通用仪器中最高的性能。
- AWG优势
 - 极高的瞬时带宽(最高达9.6GHz)
 - 灵活的波形生成能力，根据用户需求，可以方便地输出各类信号
 - 简便的仪器配置，无需模拟信号源、基带源和调制器，直接生成所需信号。调制信号的基带、中频甚至是射频直接输出，任意波形发生器都能提供all in one的完备激励性能。

IAWG利用RFXpress软件宽带数字调制信号

- 泰克AWG是宽带（超宽带）数字调制信号全球最通用的解决方案
- 泰克提供调制信号生成软件为用户方便产生数字调制信号的基带、中频或者射频信号
- 用户也可以使用Matlab等工具产生任意调制信号



实例三：使用AWG产生超宽带雷达信号

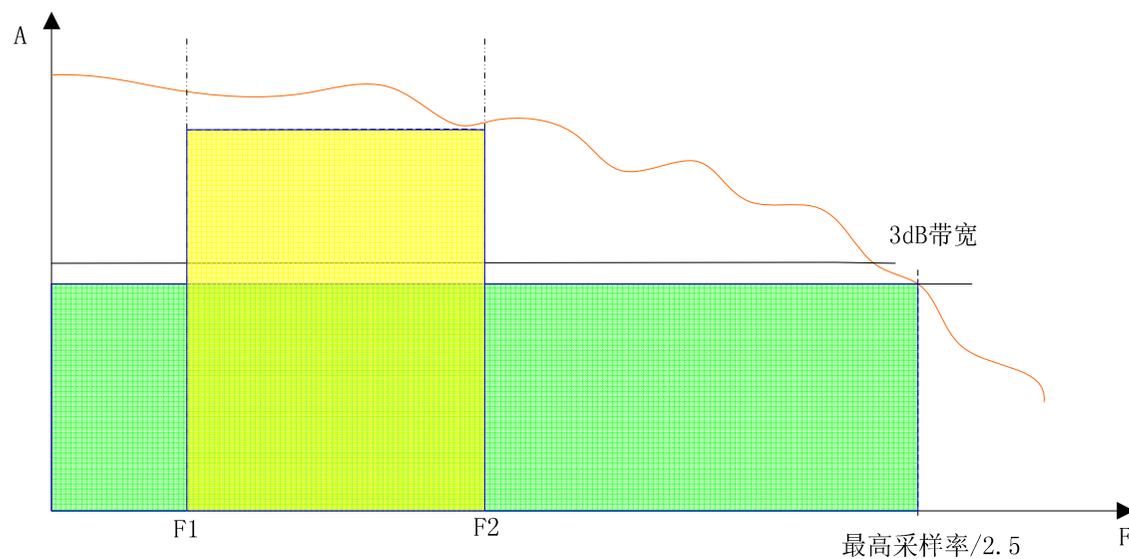
- 主要应用
 - 雷达
- 挑战
 - 随着先进雷达体制不断涌现，在雷达测试信号仿真方面，提出了更高的要求。新体制雷达对信号源的主要要求有：足够的带宽，特别是在合成孔径雷达等超宽带系统中，对输出带宽要求可达3GHz以上；严格的时序关系，以模拟确定的PRI、相位和频率随时间变化的特性；灵活的操作，可根据实际的信号要求方便地配置输出信号参数，包括理想信号、环境信号、信道情况的模拟；等等
- AWG优势
 - 极高的带宽性能(最高达20GHz)
 - 可在时域、频域和调制域等个视角编辑波形，同时保证信号的时序、频率和相位等的特性
 - 配合适当的波形仿真软件，可以输出各种不同体制的雷达信号

业内唯一的高级雷达信号生成信号源+软件RF Express

- 针对新型雷达体制的特点和要求，雷达插件为RFXpress加入了以下功能
 - 建立单个或者多个雷达脉冲组，并由此产生相参或者非相参的脉冲序列
 - 每个脉冲组的所有参数均可独立设置。
 - 可在每个脉冲内和脉冲间独立定义幅度变化和频率变化（hopping）
 - 定义雷达脉冲图案，并且以时频图方式显示，便于观察
 - 简便定义所有脉冲参数，包括起始时间、关断时间、上升时间、下降时间、脉冲宽度、跌落和纹波
 - 定义变化PRI的信号，PRI变化可为步进或者用户自定义规律。
 - 建立用户定义的脉冲顺序，并使用AWG的序列模式，在产生大量脉冲信号的同时优化内存使用
 - 支持多种内调制方式，包括捷变频调频、步进跳频、巴克码、多相位编码。用户可自定义步进跳频，各种编码方式和自定义调制。

有关校准

- 宽带低通滤波器——幅频特性可能不太理想
 - 平缓的滚降曲线
 - 需要校准
- 两种校准方式
 - 全带宽内预失真（或预校正predistortion）
 - 幅度
 - 数据处理
 - 可选范围的预失真——泰克使用的方式



校准

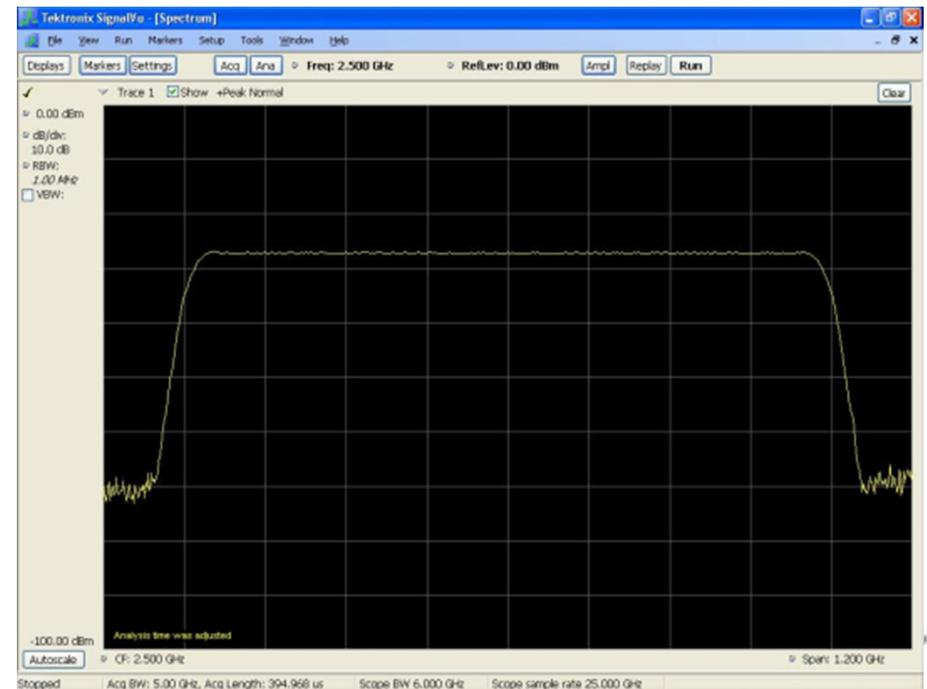
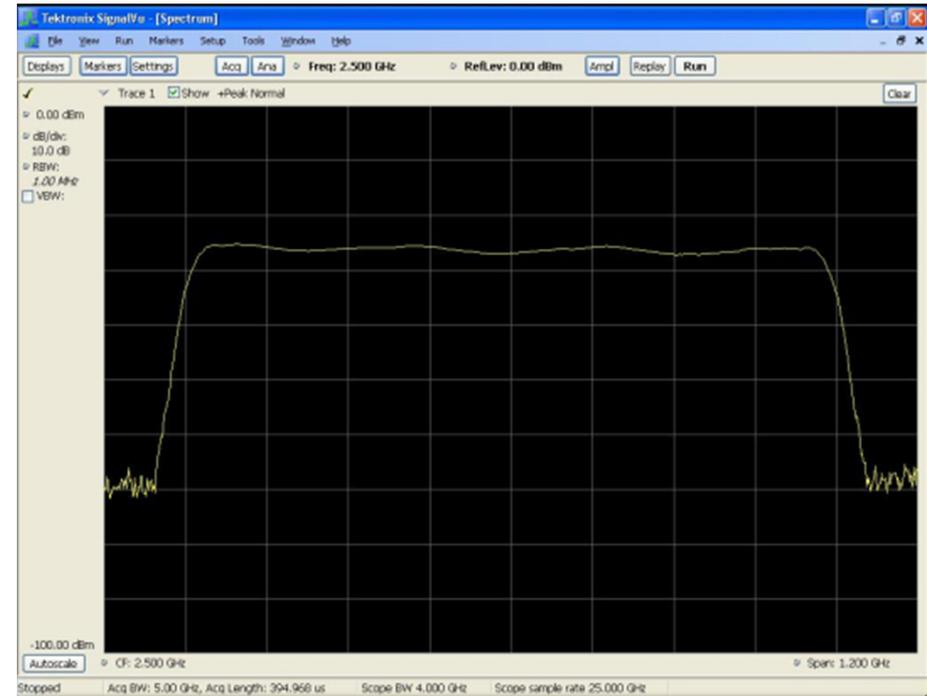
The screenshot shows the RFXpress software interface. The main window displays a table of carriers with the following data:

Number	Frequency (MHz)	Amplitud..	Symbol rate(MHz)	Modulation	Filter	Alpha/B*T	State
1	10.000000	0.00	1.000000	QPSK	Raised Cosine	0.35	ON

A "Find Instruments" dialog box is open, showing a table of available instruments:

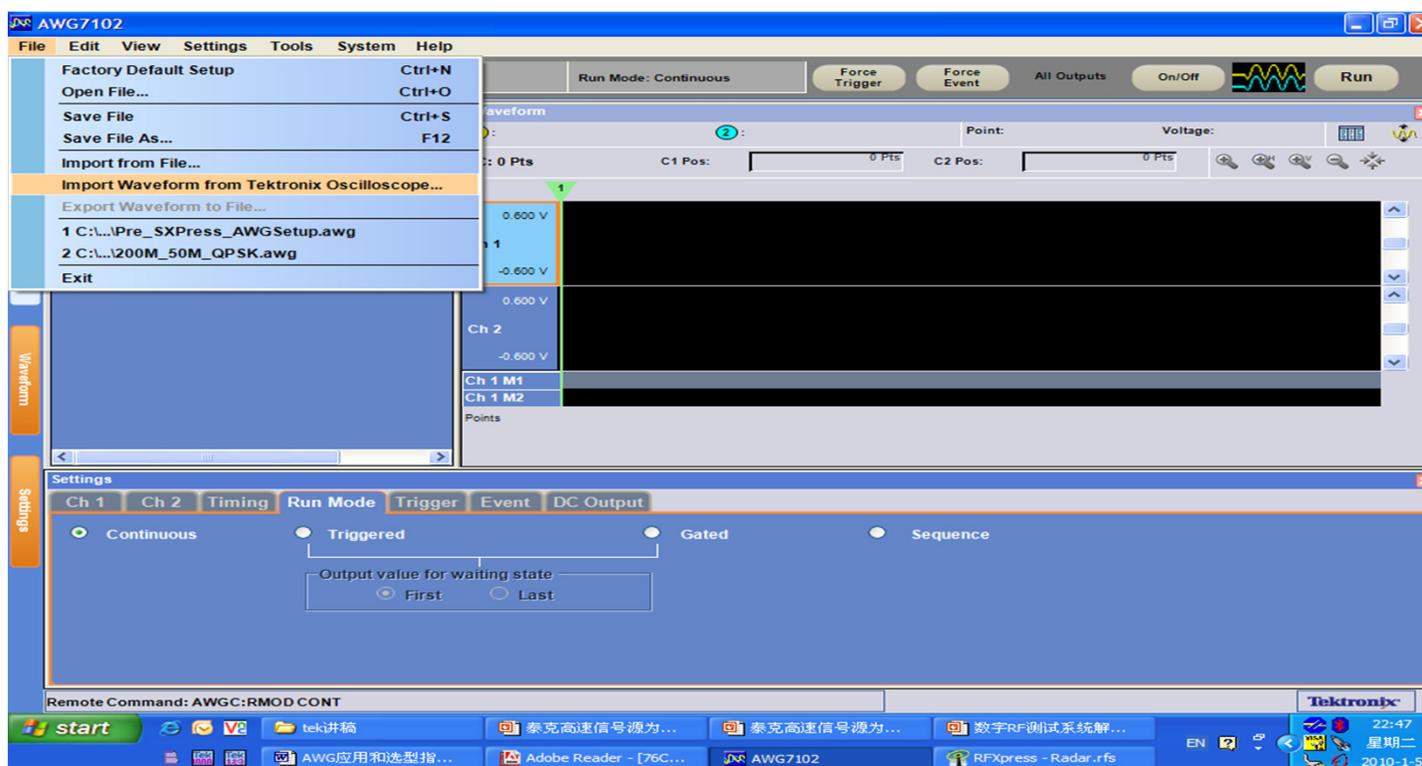
Model	Status	ConnectionType	Name
TEKTRONIX,DPO70804B	Connected	Ethernet	

The dialog box also includes buttons for "Connect", "Disconnect", "Refresh", and "Import...". The status is "Ready".



实例四：使用AWG复现时域信号(Scope and RTSA实时频谱分析仪) 挑战

- 在很多应用中，客户想获取”现实“中的信号，经常利用示波器采集信号，然后利用仪器还原真实信号。
- AWG优势
 - 可以输出“现实世界”各种信号
 - 信号加扰的产生:插入噪声、毛刺、交调等



实例五：使用AWG产生跳频信号

- 主要应用
 - 跳频电台一带宽达到几百MHz
 - 其他跳频通信系统
 - 雷达脉间跳频
- 挑战
 - 传统上，宽带跳频
 - 跳频速度快
- AWG优势
 - 由于AWG信号输出无锁相环路，采用DAC直接将数字信号转换成模拟信号，不存在锁相环路需要稳定的问题，因此AWG频率转换非常快，它与DAC的上升、下降时间（输出带宽）和时钟速度有关。

RFXpress软件产生跳频信号

Hopping Turn On

Index No: 0

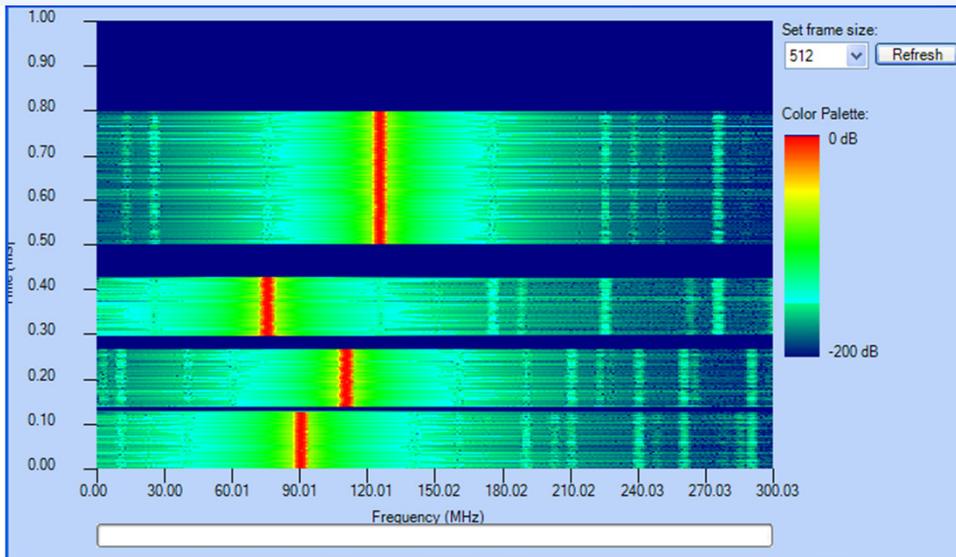
Start Symbol: 0

End Symbol: 0

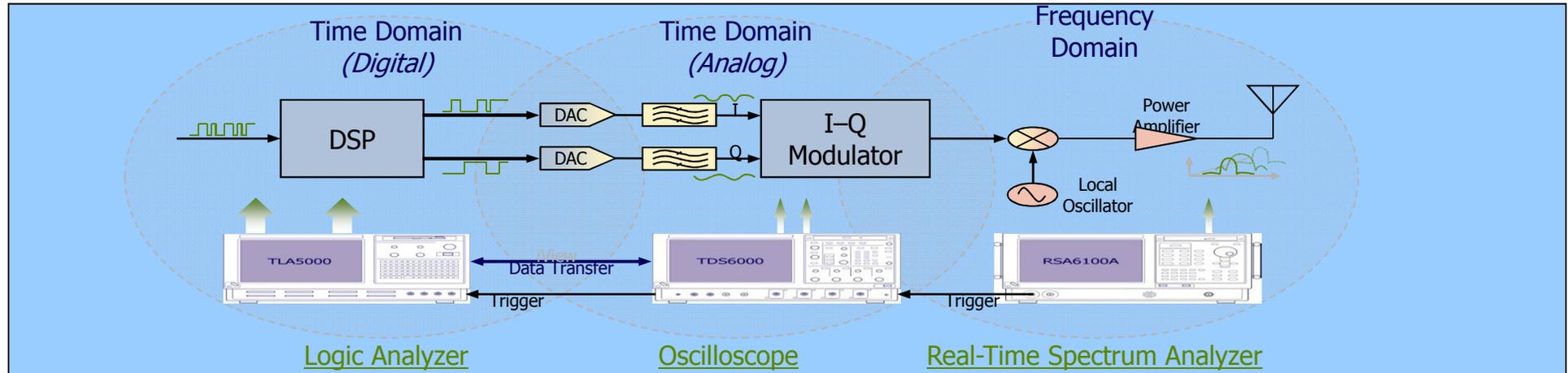
Relative Amplitude: 0.00 dB

Frequency Offset: 0

No.	Start Symbol	End Symbol	Relative Amplitude	Frequency Offset
1	0	128	0	-10
2	140	268	0	10
3	300	428	0	-25
4	500	800	0	25



应用六：复杂电磁环境信号仿真



Environment Signal Creation

The screenshot displays the RFXpress software interface for creating an environment signal. The main window is titled "RFXpress - Environment.rfs" and includes a menu bar (File, View, Configure, Waveform, System, Window, Help) and a toolbar with buttons for "On/Off" and "Run".

The "Waveform List" on the left includes: Generic Signal, UWB, Radar(1), OFDM, WiFi, WIMAX, GSM(1), CDMA(1), W-CDMA, DVB-T, User Defined, and Noise.

The main configuration area shows three signal types, each with a "Turn On" checkbox and a "Configure..." button:

- Radar 1:** Carrier Frequency: 1.000000000 G Hz, Power: 0.00 dB, Start Time: 0 p s, Duration: 11.000000 μ s. Periodically Extend.
- CDMA 1:** Carrier Frequency: 900.000000 M Hz, Power: 0.00 dB, Start Time: 0 p s, Duration: 26.667040000 m s. Periodically Extend.
- GSM 1:** Carrier Frequency: 955.000000 M Hz, Power: 0.00 dB, Start Time: 0 p s, Duration: 4.615360000 m s. Periodically Extend.

The "Carrier Magnitude Peak" is set to 0.000 dBm.

The "GSM Configure" dialog box is open, showing the following settings:

- ARFCN: 100
- Frequency band: P-GSM_900
- Transmit device: Base
- Radio format: GSM
- Modulation: GSM (selected), EDGE, EGPRS2A, EGPRS2B
- Timeslot burst type: GSM
- Timeslot timing mode: 157 symbols*2 timeslots, 156 symbols*6 timeslots
- Timeslot configuration: All timeslots

The bottom of the window features two plots:

- Graph Preview:** A plot of Magnitude (dB) vs. Frequency (Hz) showing three narrow peaks at 900M, 955M, and 1G Hz.
- Duration (s):** A plot showing the duration of the signals over time, with yellow bars for GSM 1, CDMA 1, and Radar 1.

The status bar at the bottom indicates: Application: Environment, AWG NA, Active RF Waveform: Waveform1.

实例七 高数串行数字信号

- 随着高速数字系统的不断发展，数字信号已经不是传统意义上的高低两个电平、时序上完全同步于时钟的“方波”
 - 预加重/去加重
 - 扩频时钟
- 传统的脉冲/码型发生器一般只能提供高低两个电平，只能提供固定时钟的同步效果。对于幅度变化（如跳变位上的预加重）或者注入抖动（如SSC可以看作作为一种抖动注入）的信号，传统信号源一般非常难于满足测试要求。现在也有一些新设备，具备了一定的幅度变化和抖动注入能力，但幅度和抖动的调节范围有限，而且常常需要硬件选项的支持以及复杂的校准
- 有幅度变化和频率变化（抖动注入）的高速数字信号，其本质就是较为复杂的模拟信号。使用任意波形发生器配合专业的信号仿真软件产生这些高速数字信号，可以非常简单快捷地获得所需激励
- 本例将介绍如何使用泰克的任意波形发生配合SerialXpress高级抖动生成软件，产生有确定抖动特性的高速串行信号。目标信号的特点是：2.5Gbps；上升时间是70ps；8b/10b编码；幅度1Vpp；偏置为0V；带有频率为133MHz，幅度为50ps的正弦抖动

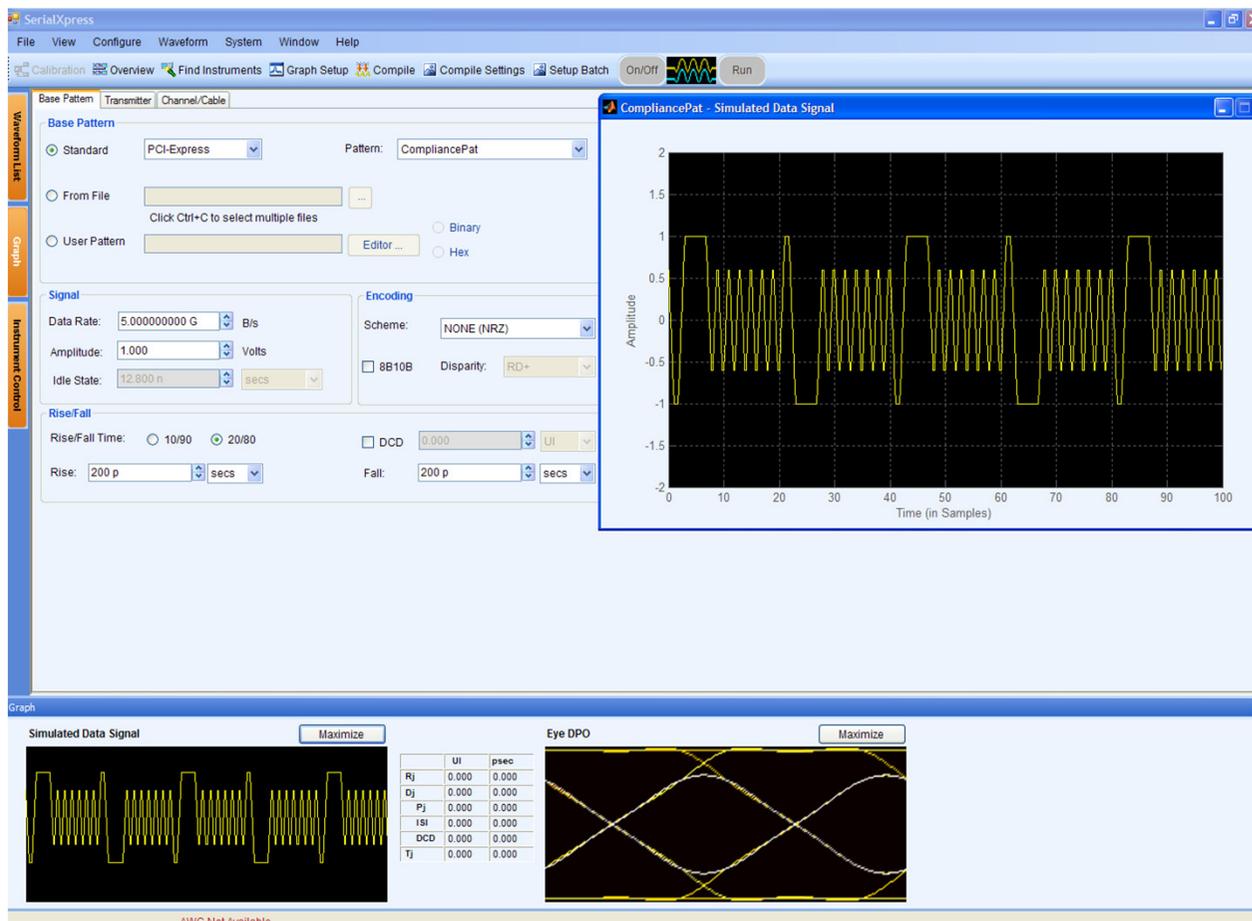
Serial Data Waveform Synthesis using SerialXpress®

Standard Base Patterns Selections

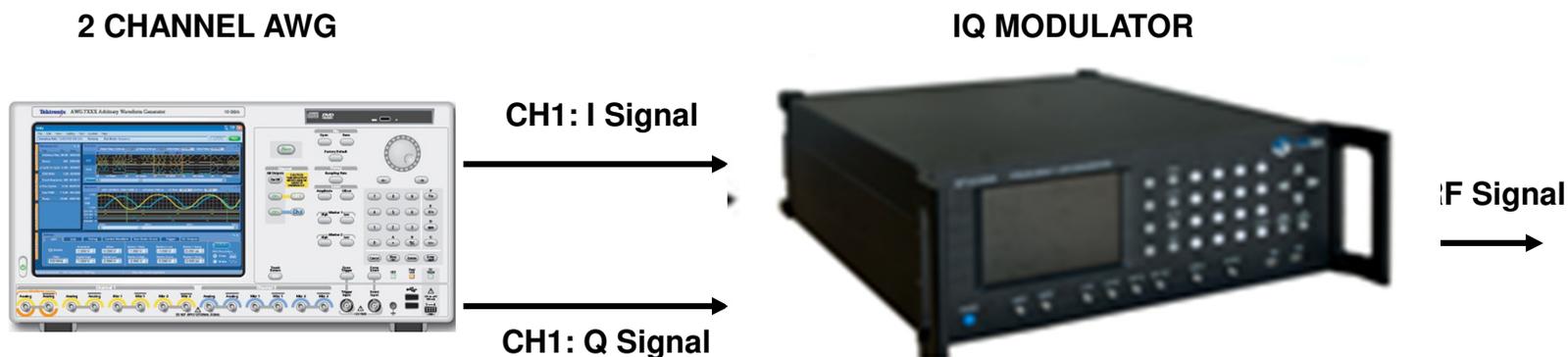
- ▶ SATA
- ▶ SAS
- ▶ HDMI
- ▶ DisplayPort
- ▶ PCIe
- ▶ Fiber Channel

Rise time setting

Graphic simulations of Compiled Data



AWG 产生基带信号



AWG5000C/7000C系列做基带信号源:

- IQ两路各480MHz(5000C系列)或4.8GHz(7000C系列)带宽, 满足通用宽带、超宽带信号能力
- 灵活的采样时钟, 无需外加时钟源
- 杰出的幅频特性和脉冲响应特性, 理想的基带源
- 较高的输出幅度, 还可供通用调试应用
- 独立式仪器, 便于使用和维护。每通道输出信号均可相参
- 回放各种数据采集设备的捕获的“真实”信号

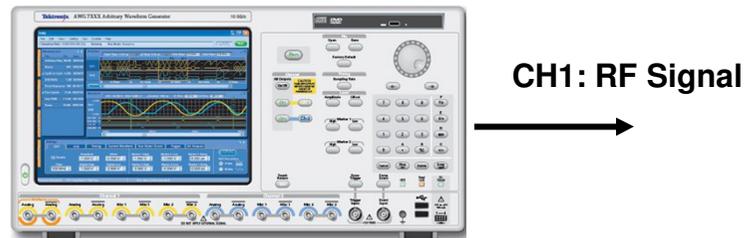
AWG ——中频和上变频



- 载波频率仅仅受限于 up-converter
- 相位和幅度匹配对于 I and Q 信号很完美因为他们靠计算出来并通过 D/A转换出来
- AWG需要高的采样率
- 和第三方合作可以产生高达40GHz的载波，瞬时带宽1GHz。

AWG——射频信号直接生成

HIGH SPEED 1 CHANNEL AWG



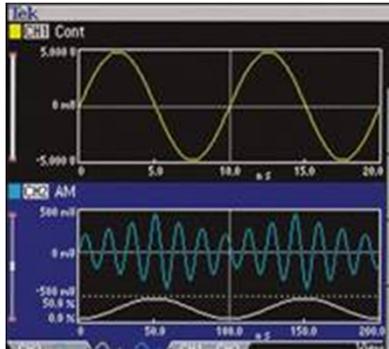
- AWG70001系列做为IF/RF信号源
 - 独一无二的输出带宽20GHz，为宽带/超宽带雷达信号生成提供了性能保证
 - 单路或者两路相参信号
 - 完整的雷达信号模拟软件，和AWG70001B配合成为高级雷达信号仿真平台
 - 可简便进行幅度和相位响应校准
 - 可重放各种信号捕获工具（如频谱仪、示波器、逻辑分析仪等）捕获到的实际信号，在实验室即可达到实战环境的测试能力

AWG性能小结

- 低通模型，宽带、高速
- “按点描述”：结构简单，应用灵活
- 可广泛使用于计算机、通信、政府研发、医疗设备、物理实验等领域
- 不仅可以产生理想信号，还可以复现数据采集设备采集的信号，还可以以增强方式产生的极限信号——无论什么样的信号特性，只要在AWG的指标范围以内，都可以直接产生
- “All In One”的解决方案，为信号激励提供最简便、重复性最好的设备

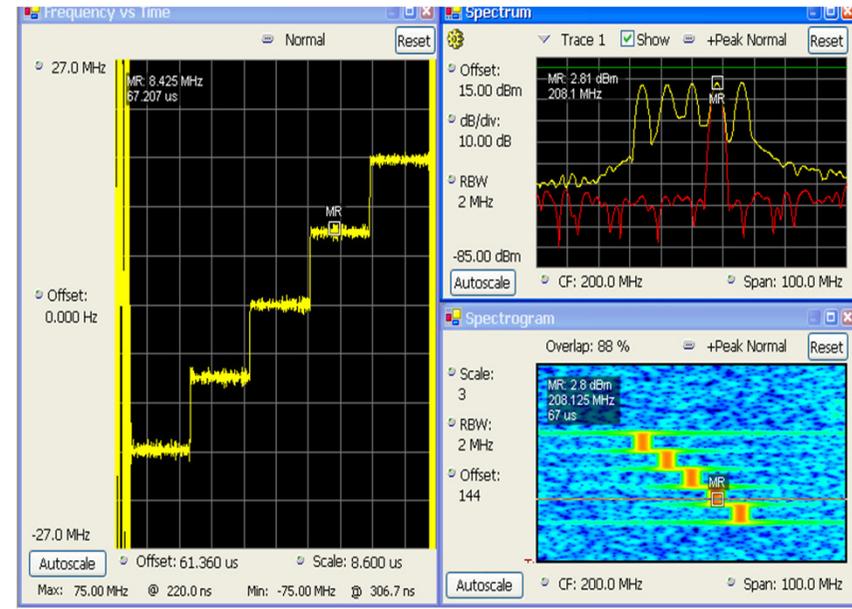
Tektronix™

复杂电磁环境下的雷达系统和通信系统的信号分析



新一代数字RF分析挑战

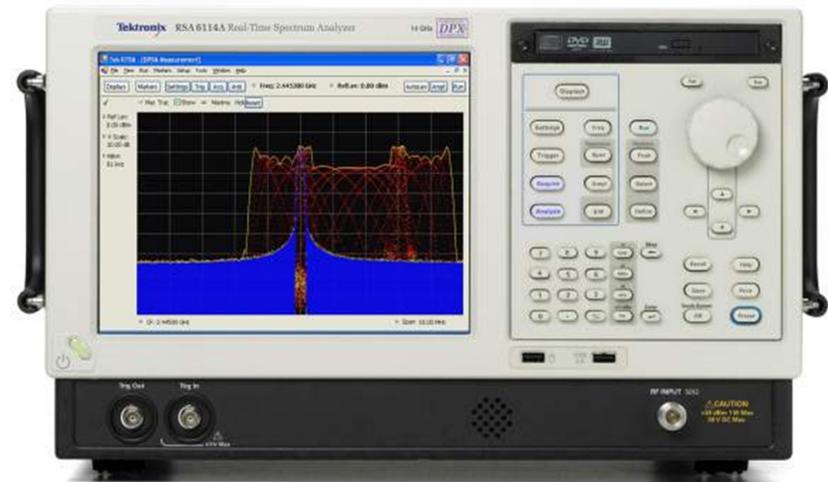
- 接收机
 - 分析带宽足够宽
 - 合适的动态范围
 - 含有准确时间信息
 - 数据方便采集、存储以及多种分析
 - 频谱监测



新一代数字RF信号分析平台---RSA+SCOPE+SignalVu 功能强大的接收机---实时频谱分析仪

- 发现
 - DPX技术，无以伦比的发现问题的工具
- 触发
 - 专利技术的频率模板触发，从频域重新定义定位特定信号的工具
- 捕获
 - 长达秒级的捕获能力，为分析提供存储保障
- 分析
 - 多域分析，全面覆盖流行的测试项目

业内领先的宽带频谱分析仪
迎接最棘手的**数字RF**测试挑战



复杂电磁环境下的频谱监测

- 必须动态监测频谱活动
- 时短信号，突发干扰的发现和定位
- 实时记录复杂背景下的信号
- 复杂电磁环境的定量分析

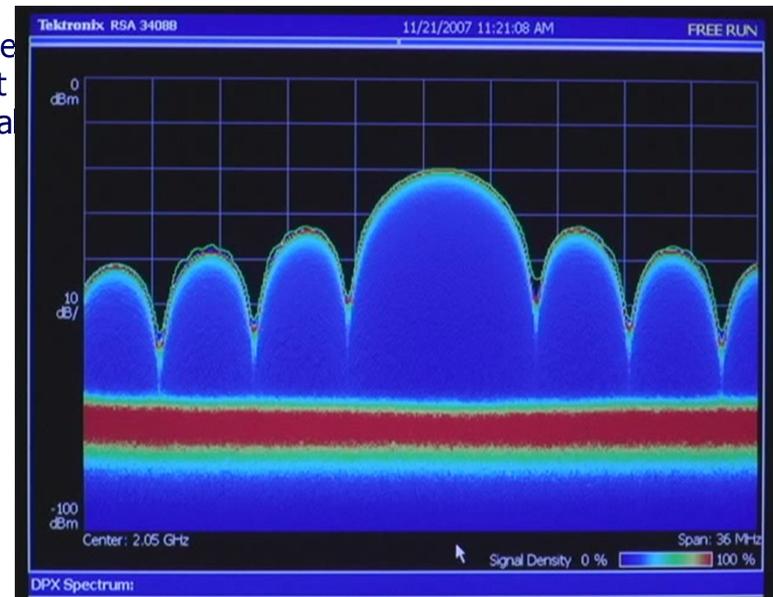


传统测量手段难以发现故障和未知的信号特性

Swept Spectrum Analyzer



RSA6100A with DPX™ Spectral



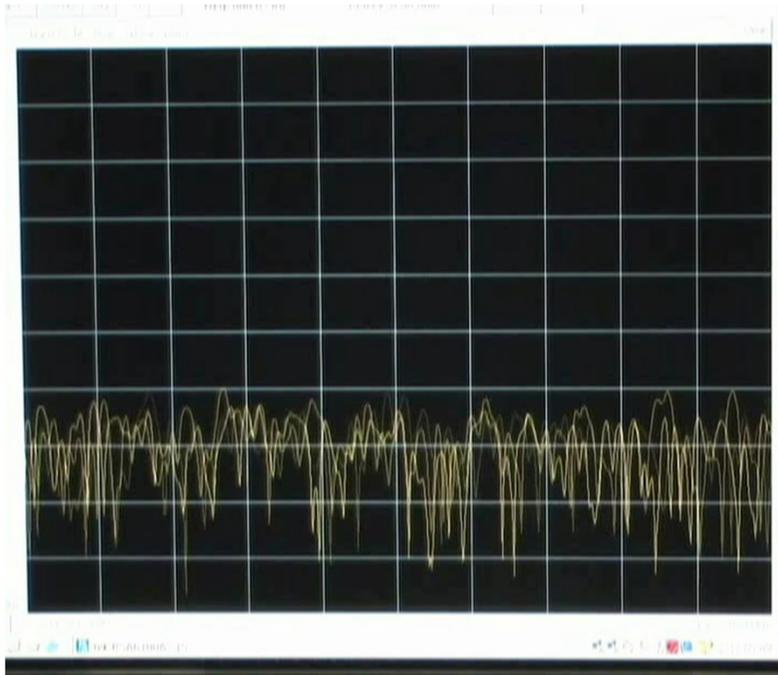
Same Test Signal

?

Low Level Signal

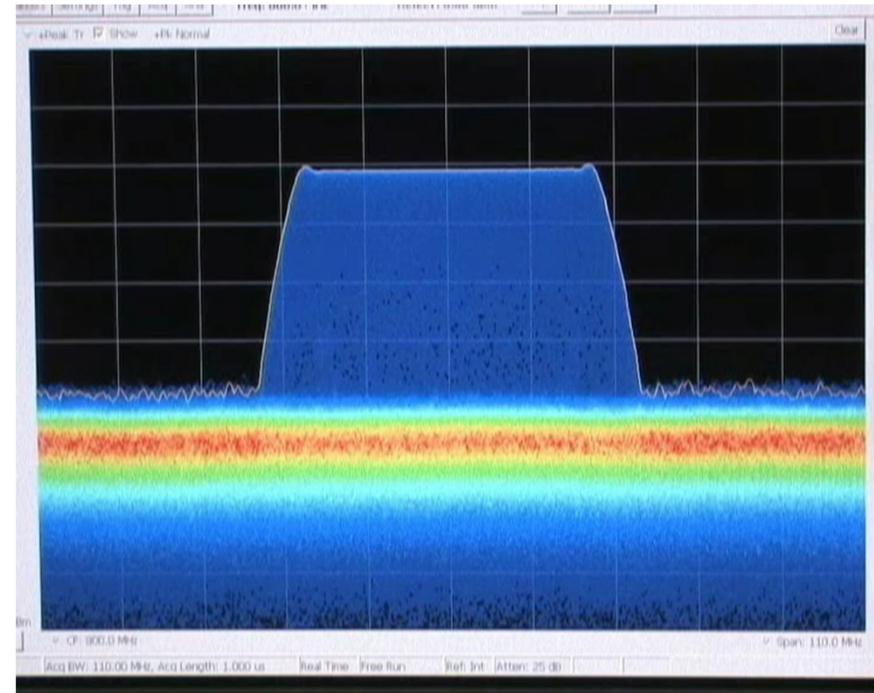
“发现”问题比” 解决 “问题更重要

- DPX™ 频谱 – 生动的RF事件观测



传统频谱观测

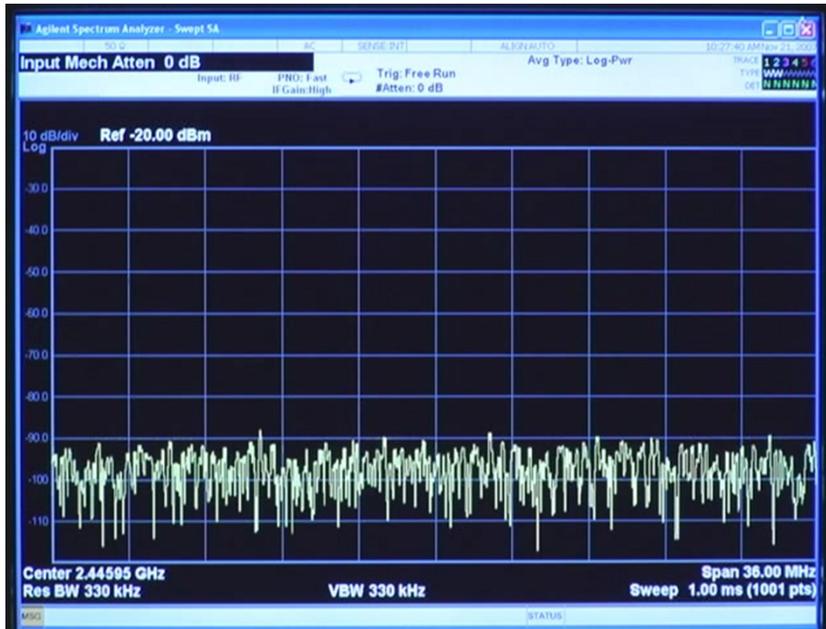
- 错过随时间变化信号的真是特性
- 对快速的信号具有低的POI
- 信号的统计特性无法被观测到



实时频谱观测

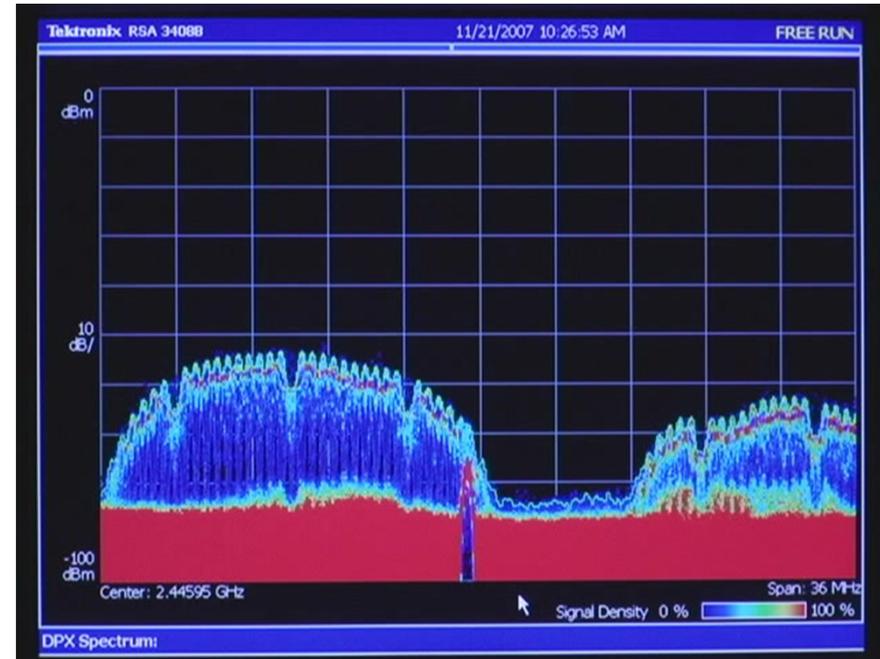
- 观测信号随时间变化的真是特性
- 对低于24us的信号具有 100%POI
- 信号的统计特性可以通过色温的可变余晖和无限余晖表现出来

通信信号的同频出现



挑战

- ▶ 监测非法信号
- ▶ 发现干扰源
- ▶ 识别，分类



传统方案

- ▶ 低的监测概览
- ▶ 低的POI 截获概率
- ▶ 分析功能有限

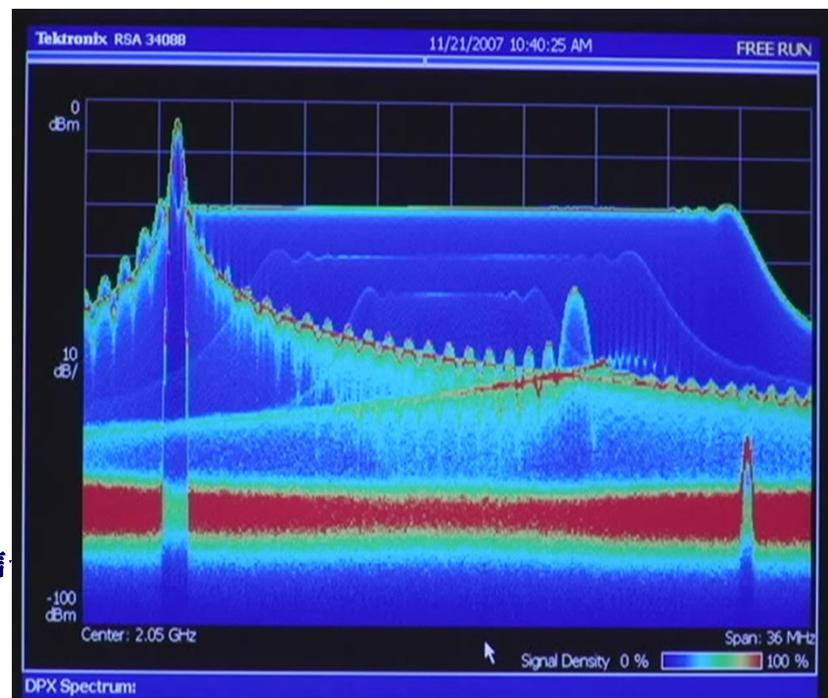
泰克优势

- ▶ DPX: 100%发现信号
- ▶ FMT: 精确定位故障
- ▶ Analyze: 超强分析功能

复杂电磁环境实例

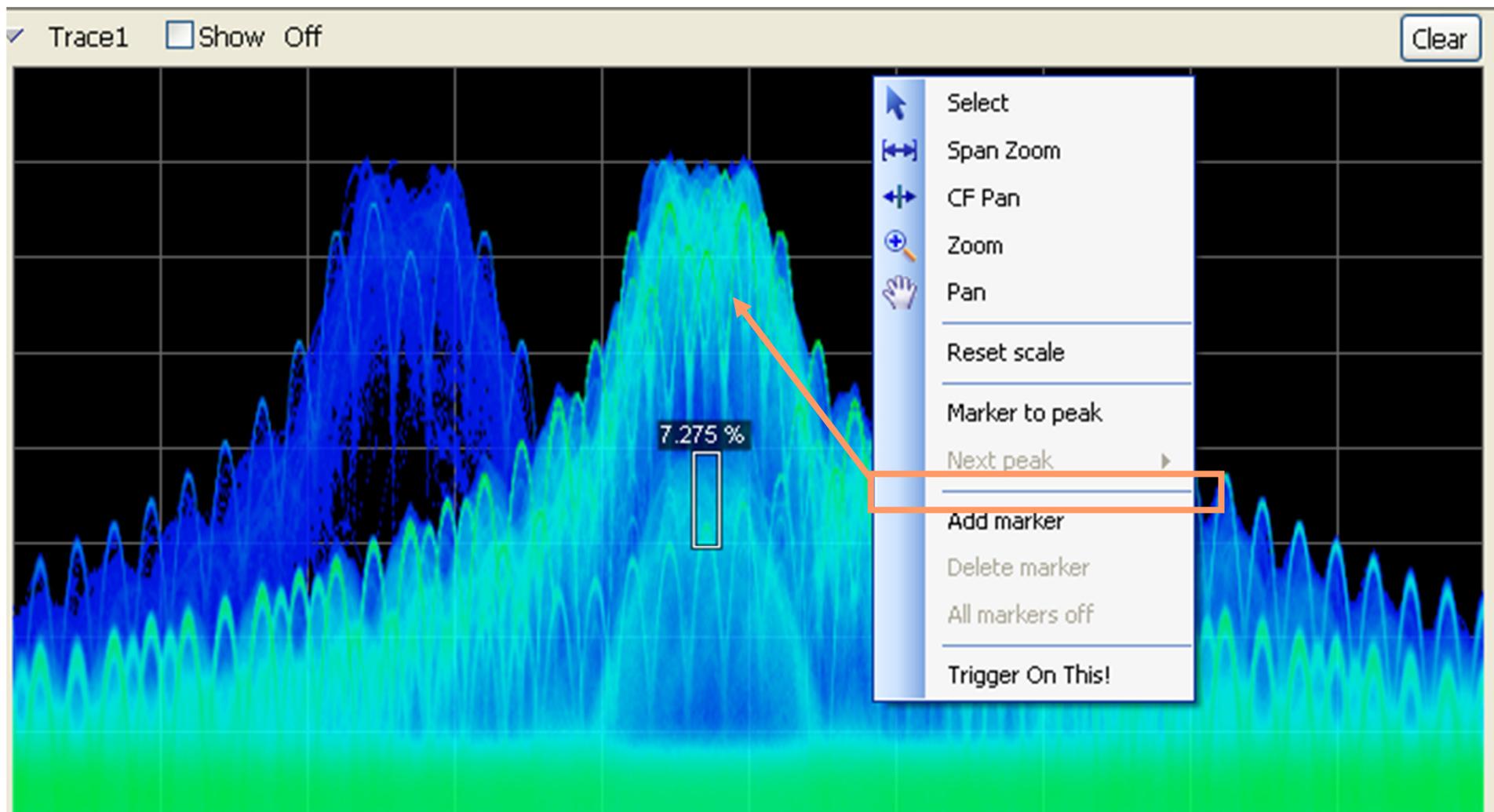
DPX频谱观测

频率上拥挤重叠
雷达信号共用同一频点



的信

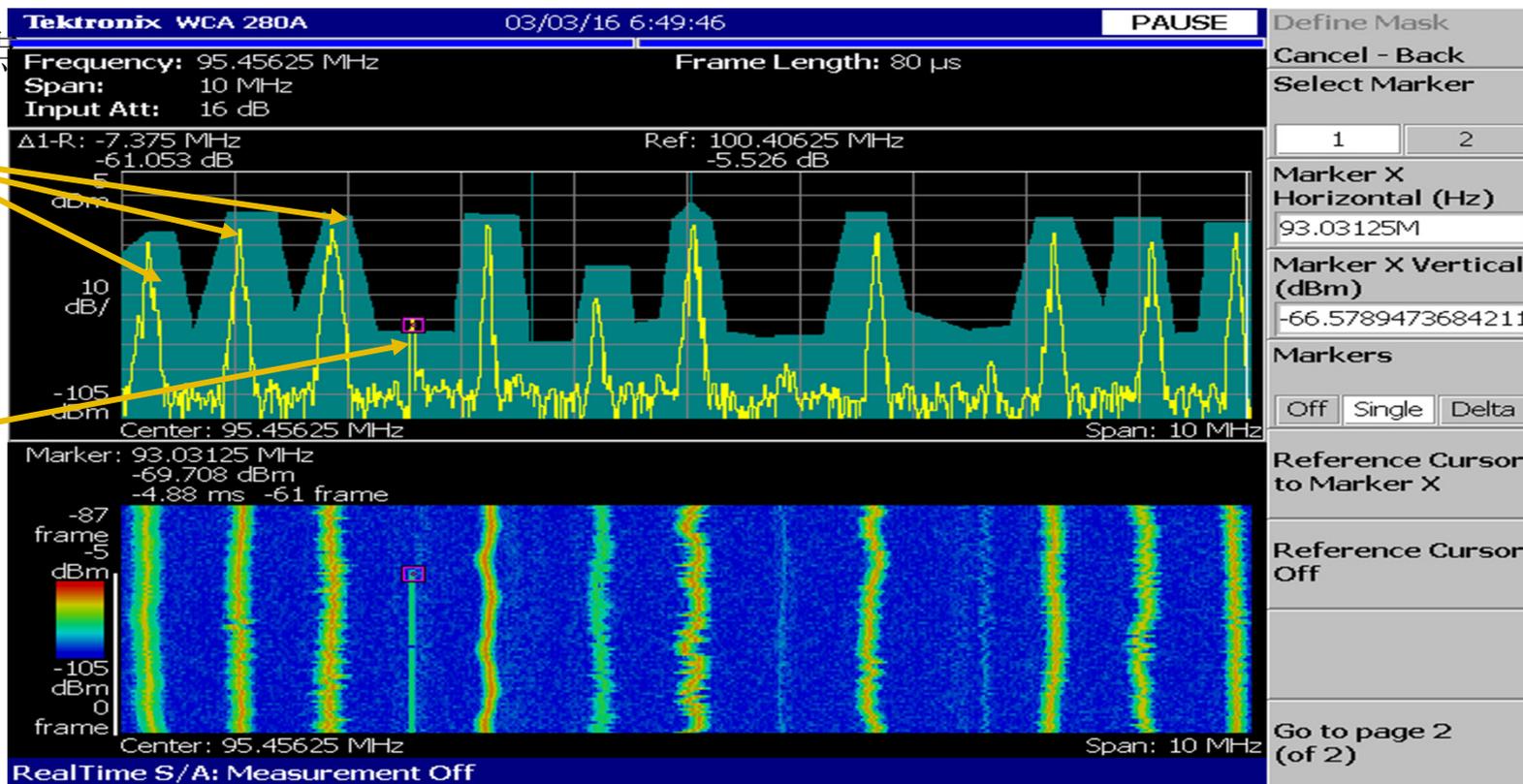
创新的频谱概率密度统计



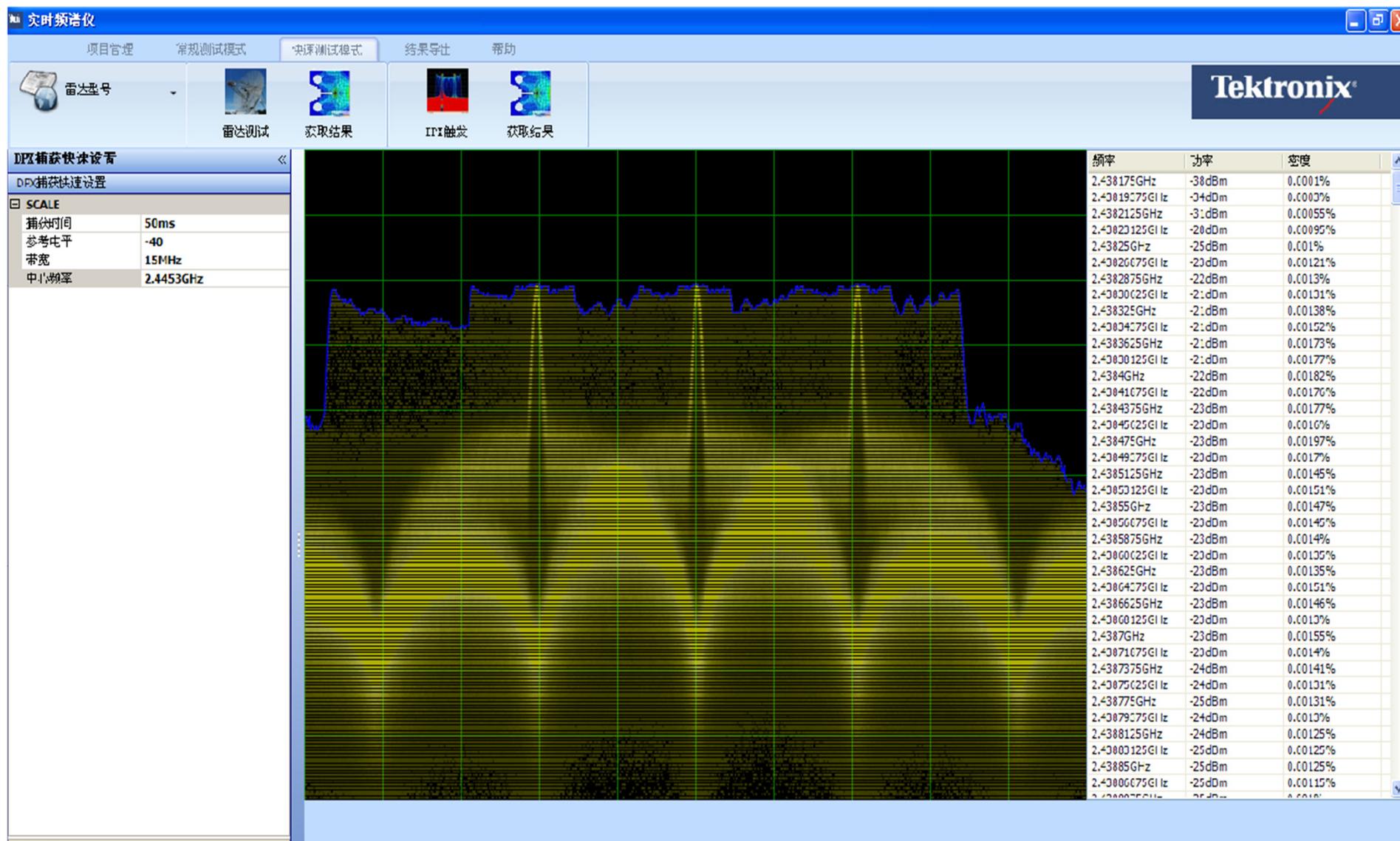
实时捕获技术(FMT)用于违规频谱捕获

已知频点的信号

对未知信号进行实时触发、捕获



复杂电磁环境的定量描述 频谱占用度统计

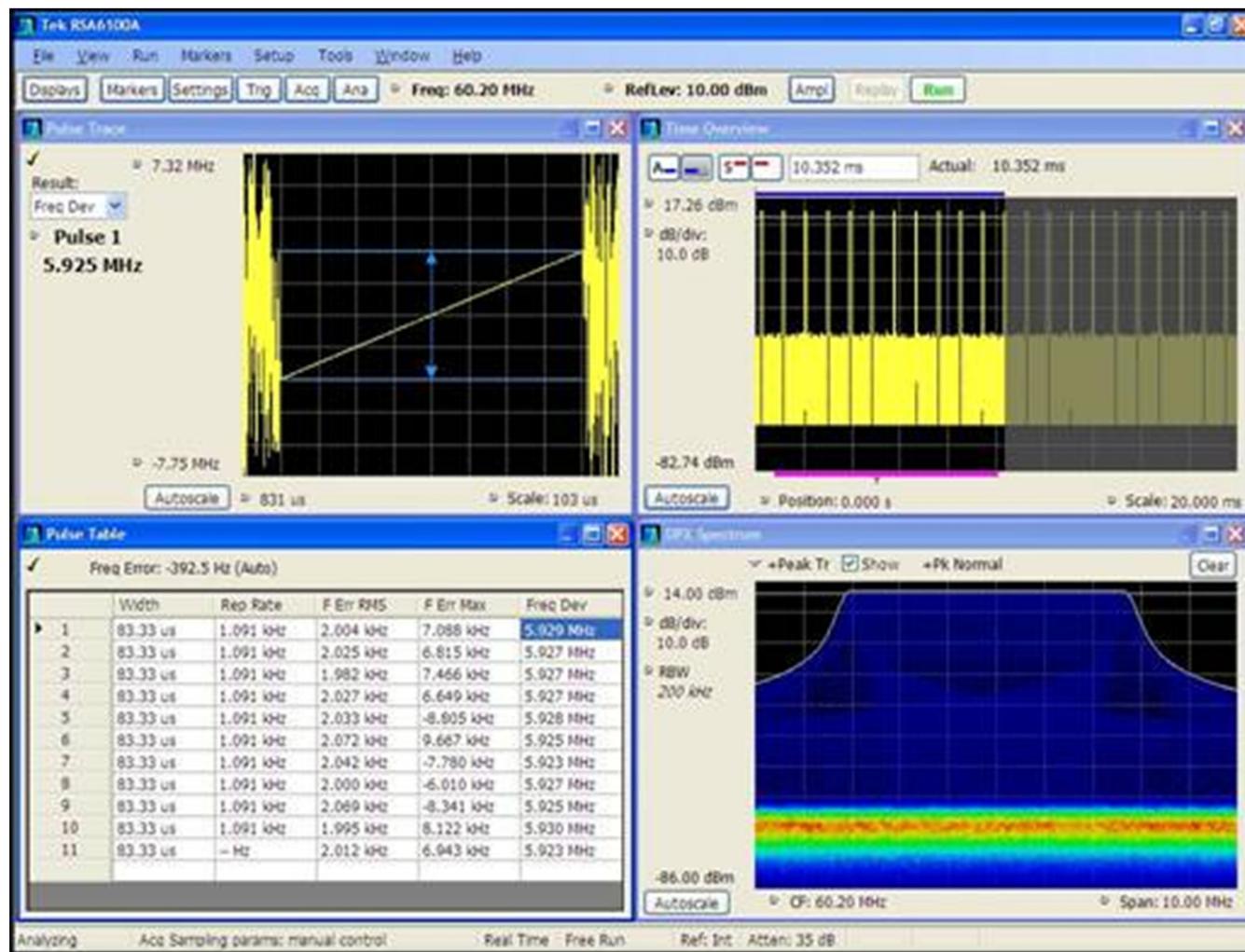


复杂电磁环境下的雷达系统性能评估

- 雷达系统的性能指标
- 新体制雷达的测试挑战（LPI,频率捷变，脉冲压缩etc)
- 雷达性能测试参数（27项）
- 雷达模拟器的新需求

创新的雷达性能测量

- 独有的雷达自动分析套件
- 专有的时间概览窗可支持最多10000个脉冲
- 线性调频线性度自动测量
- 相参测量
- 相位编码自动分析

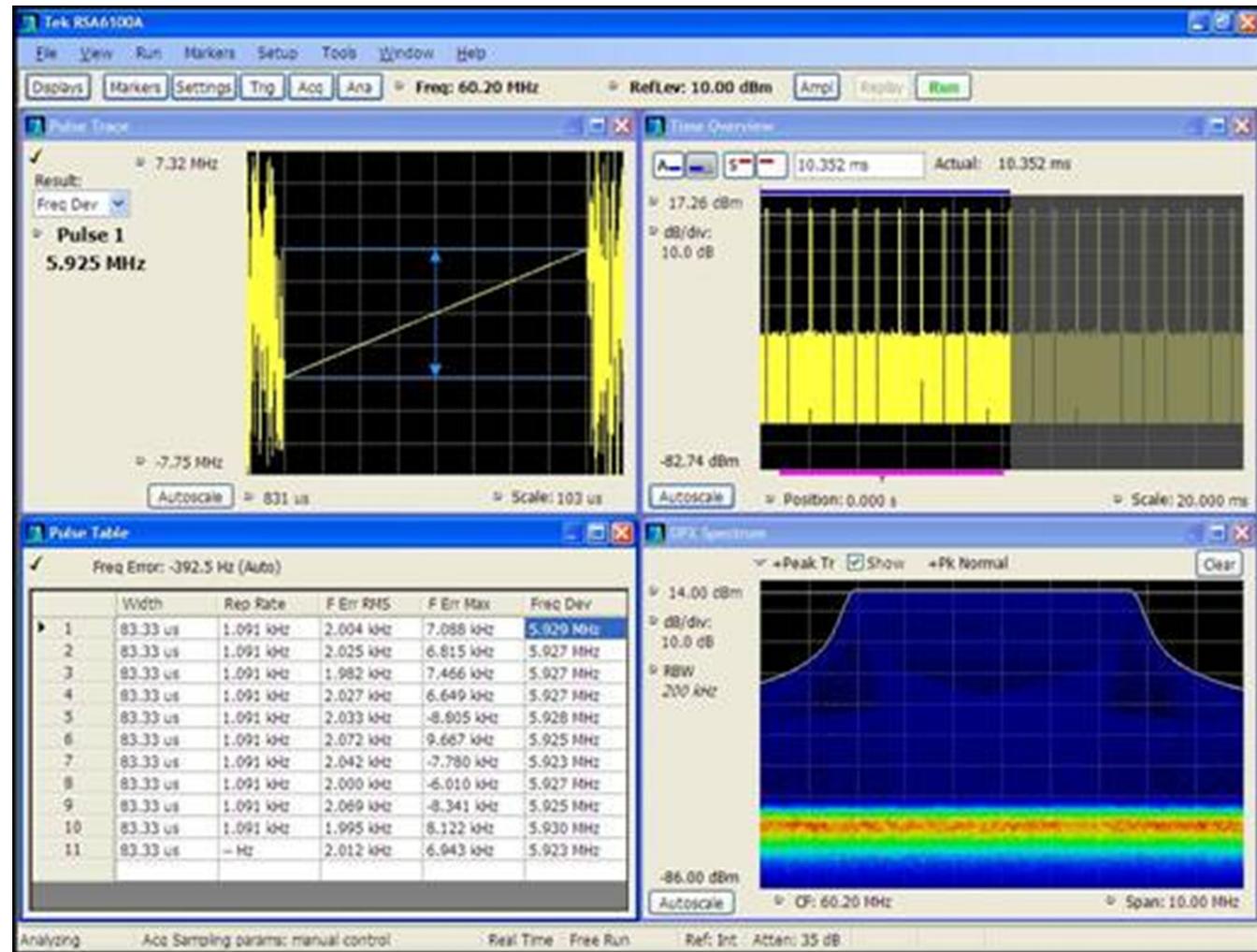


雷达自动分析套件—27项

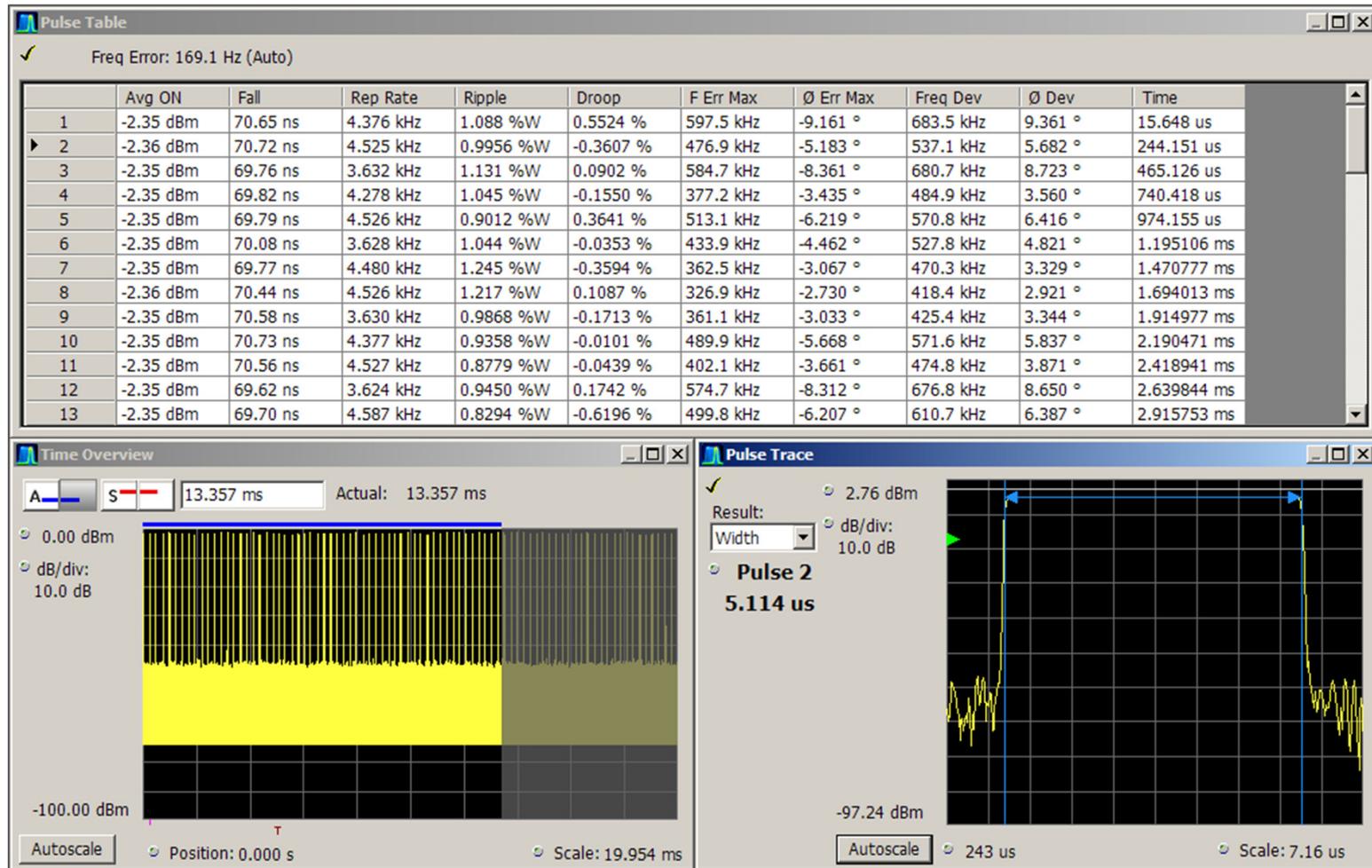
- ▶ **Average ON Power** :平均开功率
- ▶ **Peak Power**:峰值功率, 针对脉冲方式
- ▶ **Average Transmitted Power** :平均发射功率
- ▶ **Duty Factor (Ratio)** : 占空比
- ▶ **Duty Factor (%)** :展空比(百分比显示)
- ▶ **Pulse Width** :脉冲宽度
- ▶ **Repetition Rate (Hz)** :脉冲重复频率
- ▶ **Repetition Interval (Sec)** :脉冲重复间隔
- ▶ **Rise Time** :脉冲边沿的上升时间
- ▶ **Fall Time** 脉冲后沿的下降时间
- ▶ **Ripple** :纹波(脉冲顶部的不平坦)
- ▶ **Droop** :脉冲顶部的衰落
- ▶ **Pulse-Pulse Phase Difference** : 脉冲到脉冲之间的相位差(脉冲的固定位置)
- ▶ **Pulse-Pulse Freq Difference** :脉冲到脉冲的频率偏差
- ▶ **RMS Freq Error** :频率误差的有效值
- ▶ **Max Freq Error** :频率误差最大值(脉冲内部频率差的最大值)
- ▶ **RMS Phase Error** :相位误差的有效值
- ▶ **Max Phase Error** :相位误差的最大值
- ▶ **Freq Deviation** :频率偏差
- ▶ **Phase Deviation** :相位偏差(调制带宽内的相位变化)
- ▶ **Time** :每个脉冲的精确时刻

脉内频率分析

- 独有的雷达自动分析套件
- 专有的时间概览窗可支持最多10000个脉冲
- 线性调频线性度自动测量
- 相参测量
- 相位编码自动分析
- 脉冲压缩功能

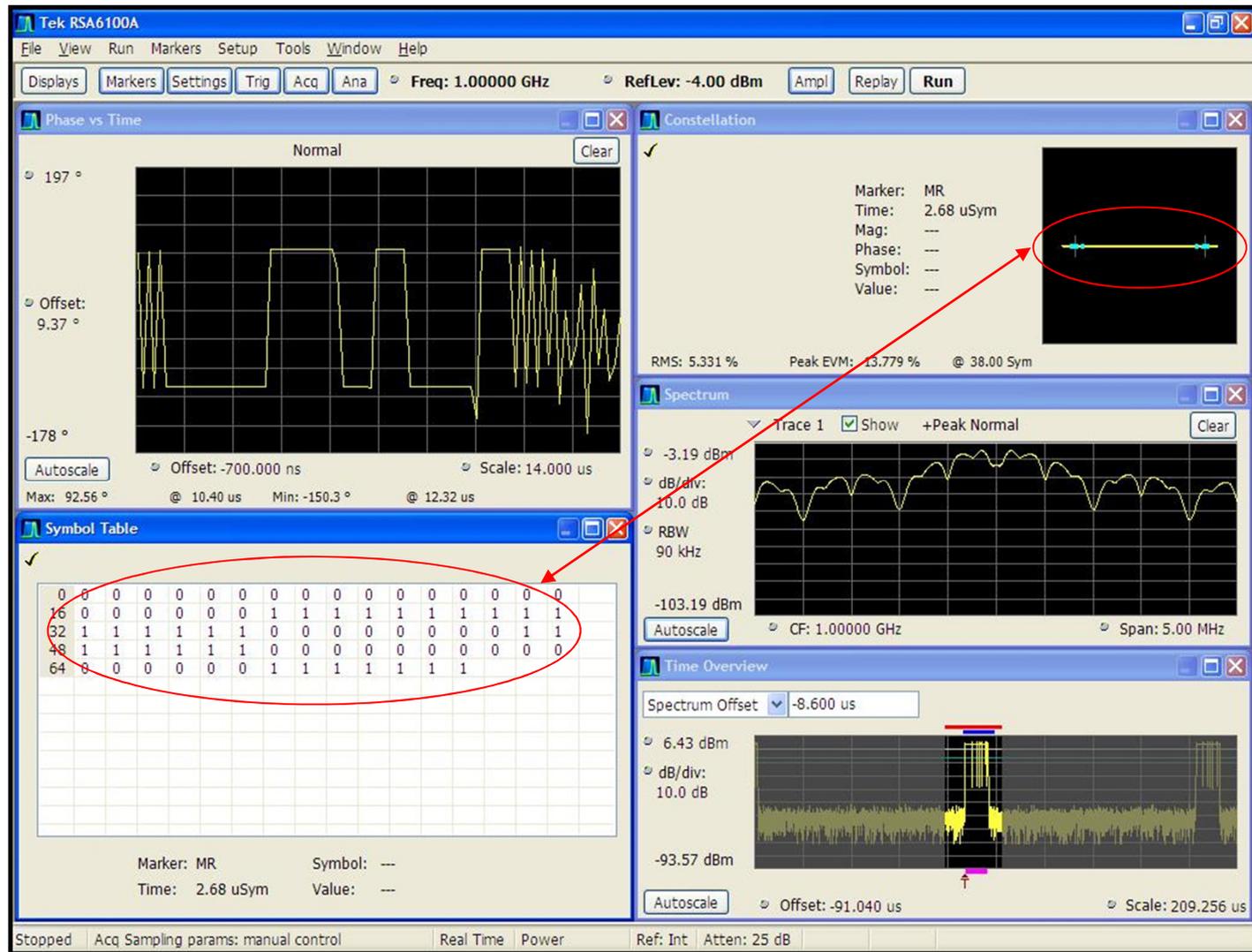


脉冲宽度测量

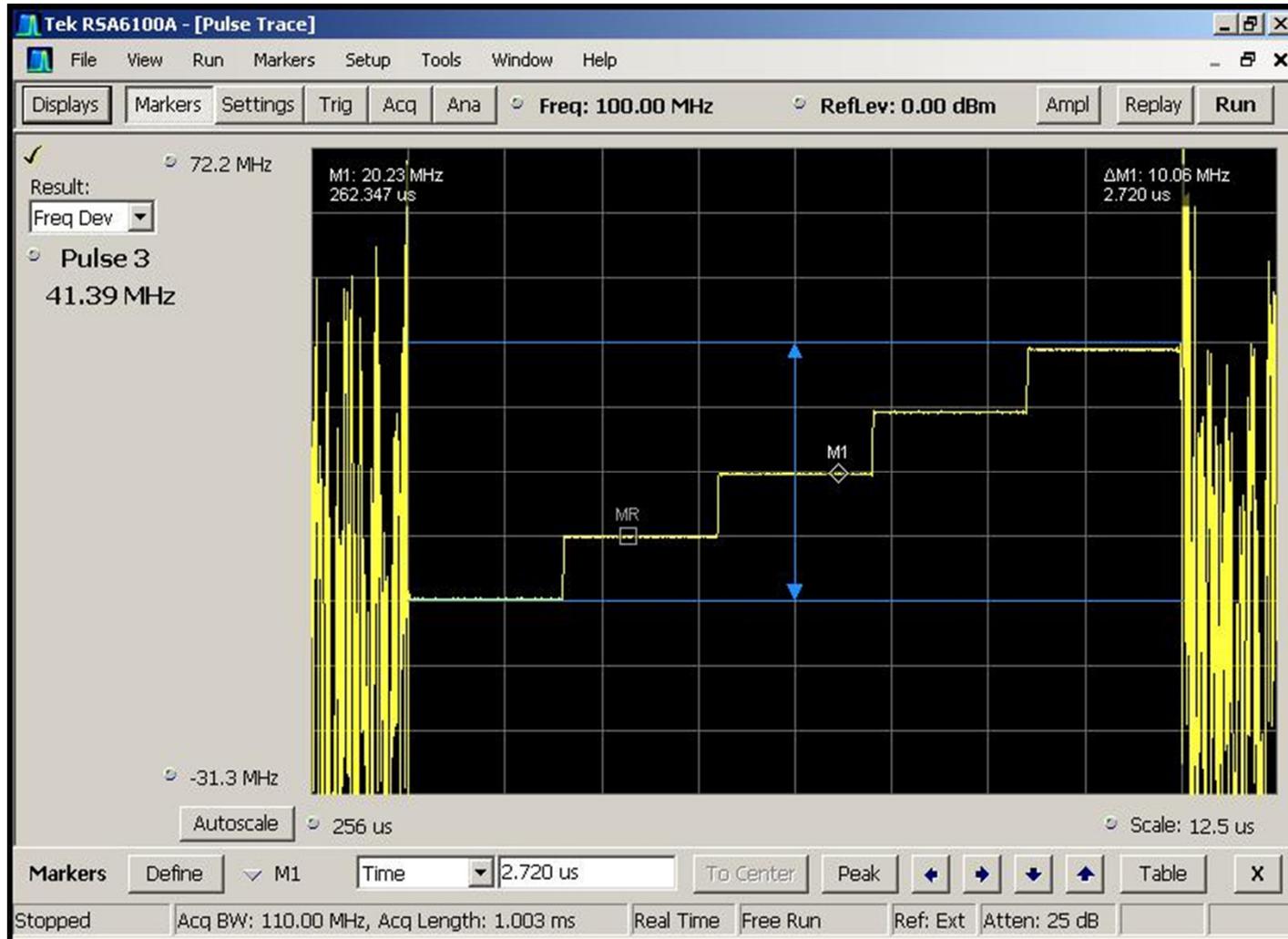


相位编码雷达信号的分析

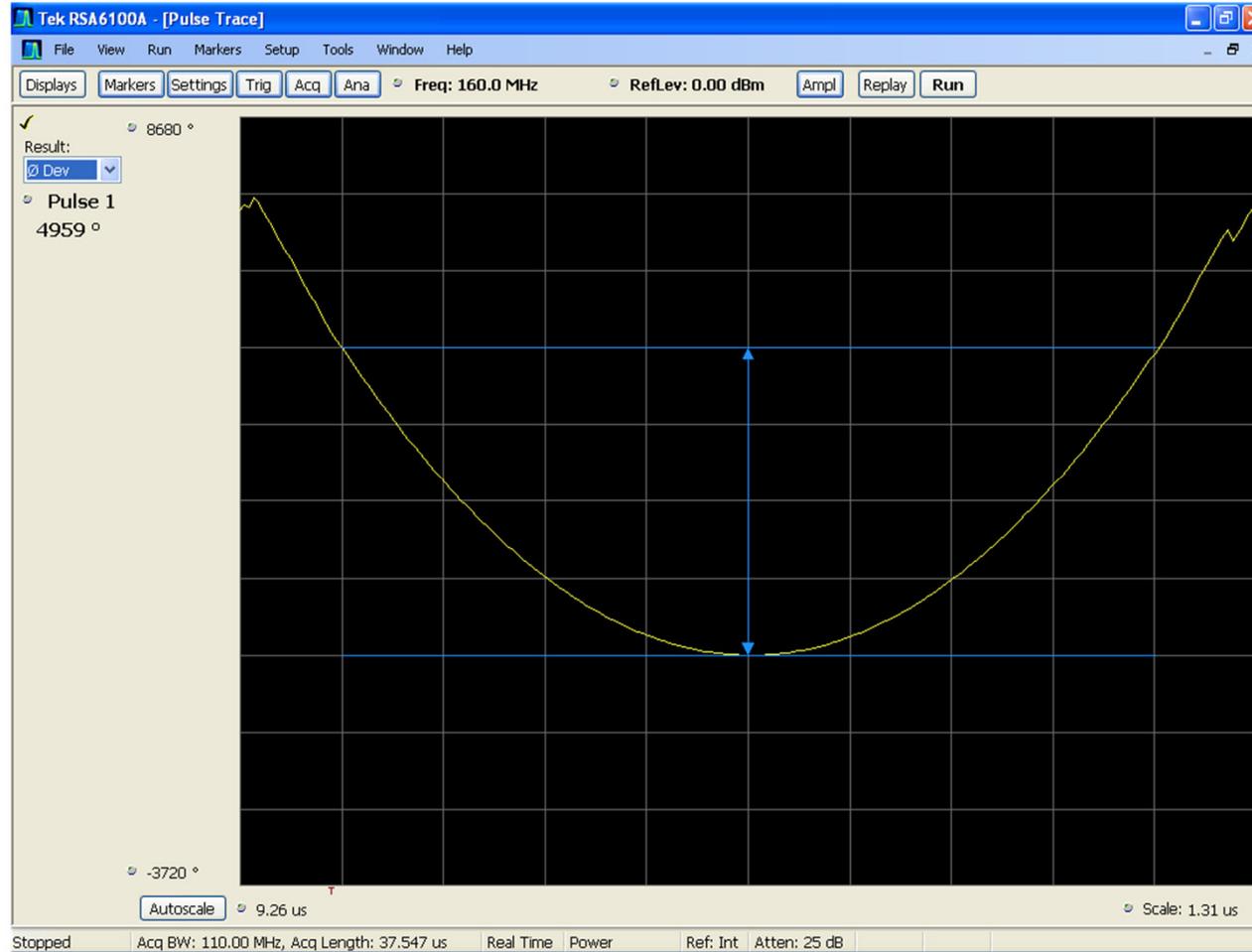
- 同时进行模拟数字解调
- “指哪打哪”和打哪指哪
- VSA可以用触发分析
- 无法任意选择分析窗



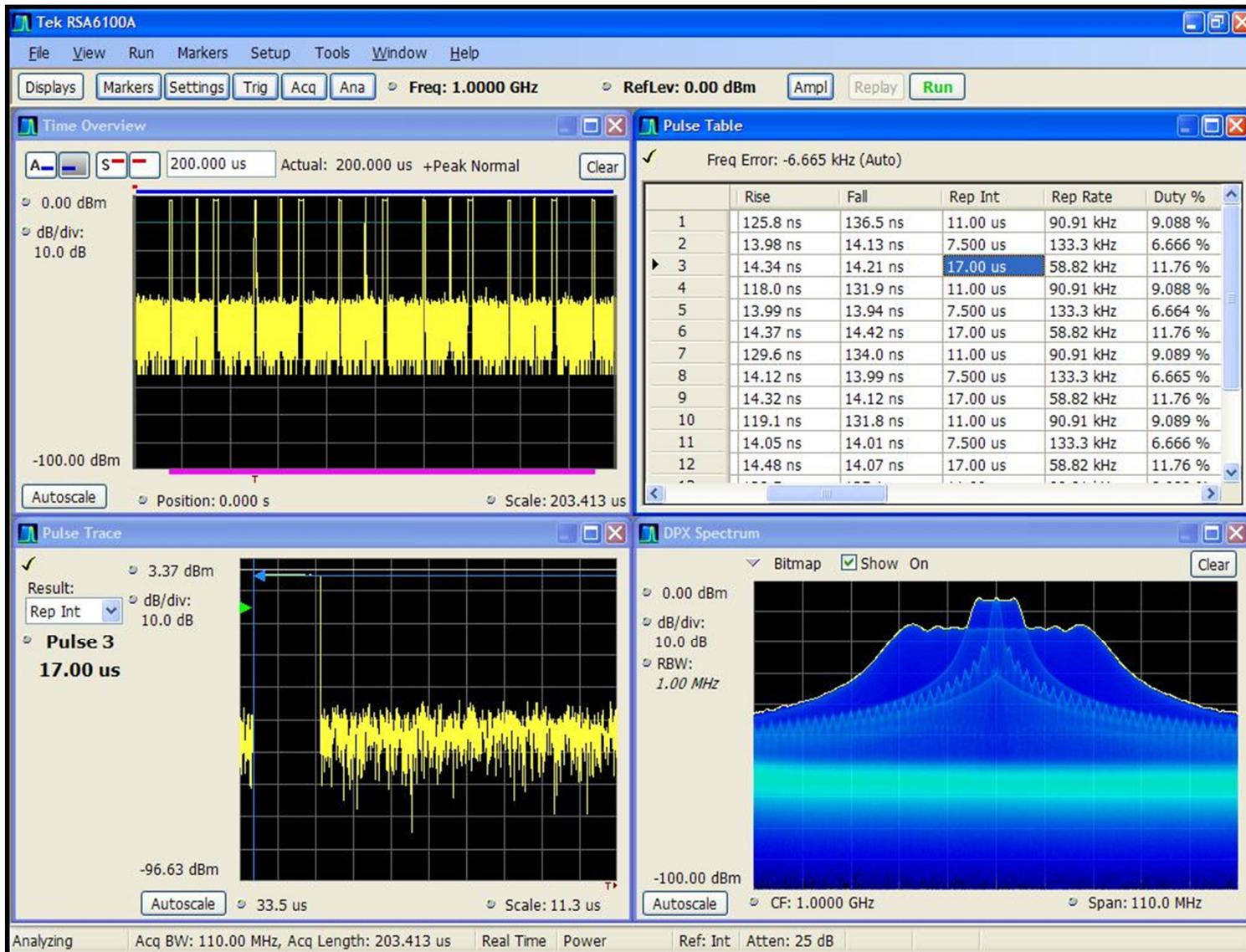
脉内步进频



脉内的相位测量—Phase Deviation



多脉冲PRI分析



PRI分析数据导出(DEMO)

Tek RSA6100A - [Pulse Table]

File View Run Markers Setup Tools Window Help

Displays Markers Settings Trig Acq Ana Freq: 1.0000 GHz RefLev: 0.00 dBm Ampl Replay Run

✓ Freq Error: -6.750 kHz (Auto)

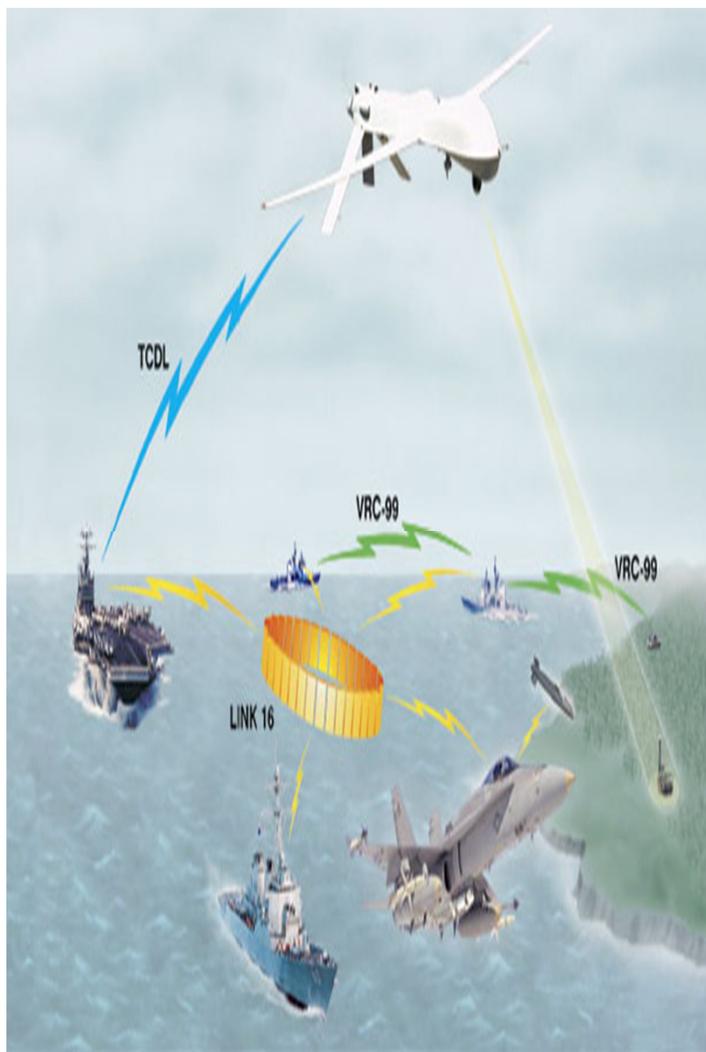
	Rise	Fall	Rep Int	Rep Rate	Duty %	Duty	Ripple	Droop	Ø Diff	F Diff	F Err RMS
6	14.23 ns	14.32 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.666 %	0.0667	2.710 %W	-0.7178 %	92.49 °	3.279 MHz	65.05 kHz
7	14.35 ns	14.42 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	4.117 %W	0.2168 %	0.3347 °	82.04 kHz	3.423 MHz
8	128.1 ns	140.9 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.088 %	0.0909	20.84 %W	-1.183 %	-20.69 °	3.055 MHz	14.12 MHz
9	14.16 ns	14.17 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.665 %	0.0666	2.484 %W	0.3582 %	92.27 °	2.536 MHz	79.47 kHz
▶ 10	14.56 ns	14.59 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	4.143 %W	0.8370 %	-0.1316 °	6.529 kHz	3.423 MHz
11	123.1 ns	142.8 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.088 %	0.0909	21.10 %W	-6.481 %	-20.65 °	3.071 MHz	14.12 MHz
12	14.28 ns	14.30 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.666 %	0.0667	1.592 %W	0.9689 %	92.38 °	2.779 MHz	67.60 kHz
13	14.48 ns	14.66 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	2.962 %W	-1.238 %	0.1664 °	-5.524 kHz	3.423 MHz
14	128.7 ns	136.4 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.088 %	0.0909	20.72 %W	-7.494 %	-20.20 °	2.992 MHz	14.13 MHz
15	14.24 ns	14.15 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.665 %	0.0666	2.065 %W	1.664 %	93.75 °	2.459 MHz	61.58 kHz
16	14.54 ns	14.70 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	3.872 %W	-1.452 %	0.1525 °	-4.336 kHz	3.424 MHz
17	129.5 ns	144.5 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.087 %	0.0909	20.17 %W	-8.017 %	-19.92 °	3.039 MHz	14.12 MHz
18	14.15 ns	14.10 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.665 %	0.0667	2.495 %W	1.127 %	94.91 °	2.255 MHz	49.11 kHz
19	14.66 ns	14.43 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	3.123 %W	0.0461 %	1.321 °	85.28 kHz	3.422 MHz
20	127.9 ns	142.9 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.089 %	0.0909	21.70 %W	-6.677 %	-20.09 °	3.055 MHz	14.12 MHz
21	14.22 ns	14.08 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.666 %	0.0667	2.916 %W	-0.6315 %	92.69 °	4.084 MHz	60.77 kHz
22	14.19 ns	14.51 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	3.548 %W	-0.3149 %	1.065 °	27.94 kHz	3.425 MHz
23	122.5 ns	137.9 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.089 %	0.0909	21.29 %W	-7.126 %	-19.69 °	2.961 MHz	14.12 MHz
24	14.29 ns	13.97 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.666 %	0.0667	2.226 %W	0.7772 %	94.81 °	1.225 MHz	76.25 kHz
25	14.57 ns	14.63 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	4.034 %W	-0.4994 %	1.602 °	48.90 kHz	3.424 MHz
26	120.6 ns	133.8 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.088 %	0.0909	21.66 %W	-4.170 %	-20.05 °	3.164 MHz	14.12 MHz
27	14.06 ns	14.27 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.667 %	0.0667	2.757 %W	0.1306 %	94.00 °	3.083 MHz	69.33 kHz
28	14.36 ns	14.46 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.77 %	0.1177	3.131 %W	-1.210 %	1.349 °	-38.36 kHz	3.426 MHz
29	118.2 ns	138.5 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.088 %	0.0909	19.63 %W	-7.246 %	-19.29 °	3.058 MHz	14.13 MHz
30	14.07 ns	14.22 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.664 %	0.0666	2.007 %W	1.227 %	94.45 °	2.884 MHz	59.36 kHz
31	14.21 ns	14.70 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	4.049 %W	0.00741 %	1.880 °	5.402 kHz	3.422 MHz
32	121.6 ns	138.1 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.087 %	0.0909	21.91 %W	-5.999 %	-19.00 °	3.012 MHz	14.12 MHz
33	14.02 ns	14.14 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.667 %	0.0667	2.486 %W	2.459 %	94.44 °	2.348 MHz	74.98 kHz
34	14.07 ns	14.32 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	4.556 %W	-0.5134 %	1.798 °	47.34 kHz	3.422 MHz
35	127.2 ns	129.9 ns	11.00 us	90.91 kHz	9.087 %	0.0909	21.27 %W	-6.347 %	-19.21 °	3.042 MHz	14.12 MHz
36	14.12 ns	14.01 ns	7.500 us	133.3 kHz	6.667 %	0.0667	2.030 %W	1.886 %	94.25 °	2.052 MHz	71.39 kHz
37	14.40 ns	14.54 ns	17.00 us	58.82 kHz	11.76 %	0.1176	3.145 %W	-0.3797 %	1.592 °	70.17 kHz	3.424 MHz

Stopped Acq BW: 110.00 MHz, Acq Length: 503.413 us Real Time Power Ref: Int Atten: 25 dB

通信系统电子对抗系统在复杂电磁环境下的性能验证

- 突发，跳频，扩频信号的捕获和分析
- 跳频系统的性能验证
- 10万跳的观测能力，20万跳的捕获能力
- 扩频信号的观测
- 通信系统的信号实物仿真

跳频系统的性能验证



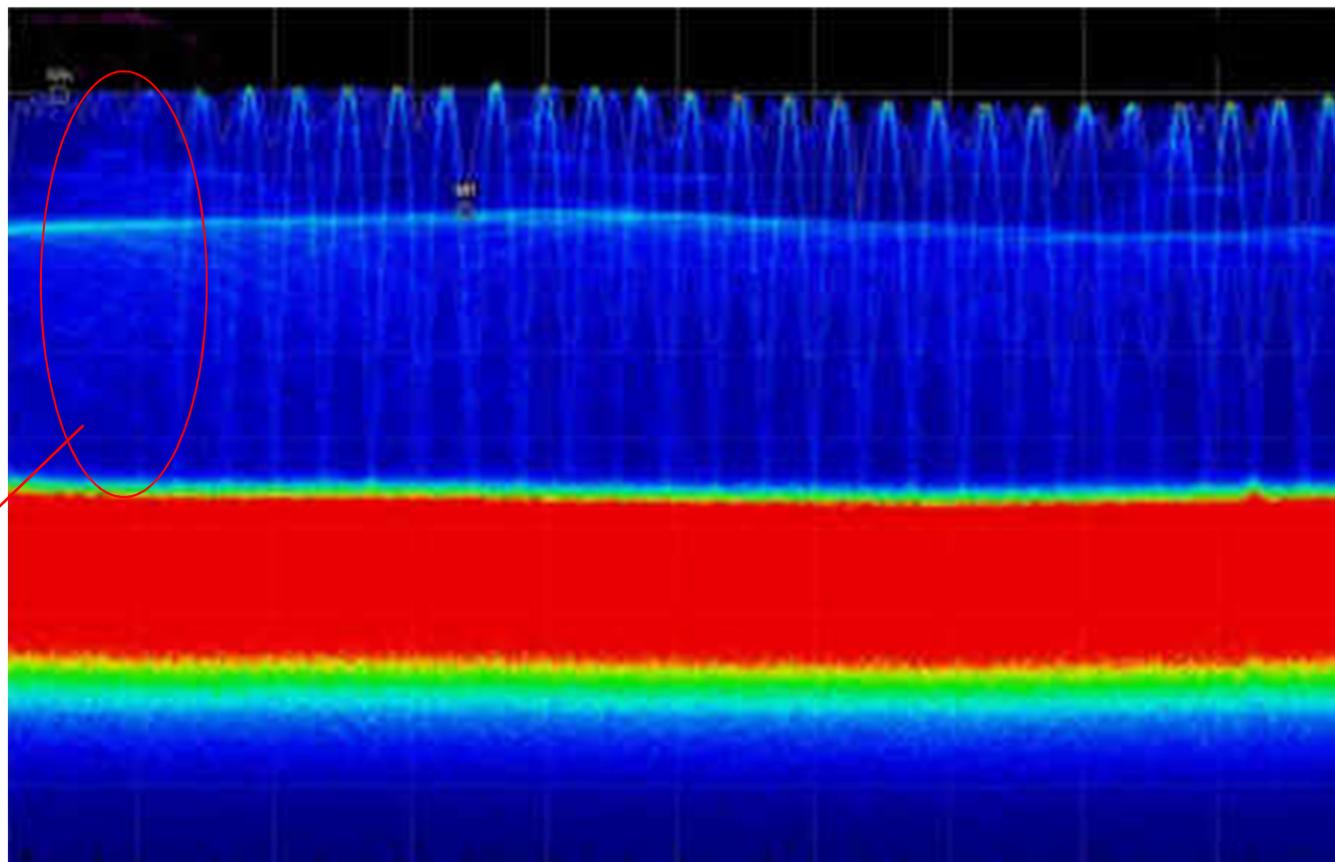
实时观测捷变频点

- 传统频谱仪需要长时间的积累,和最大保持

- DPX技术实时观测跳频点,生动显示

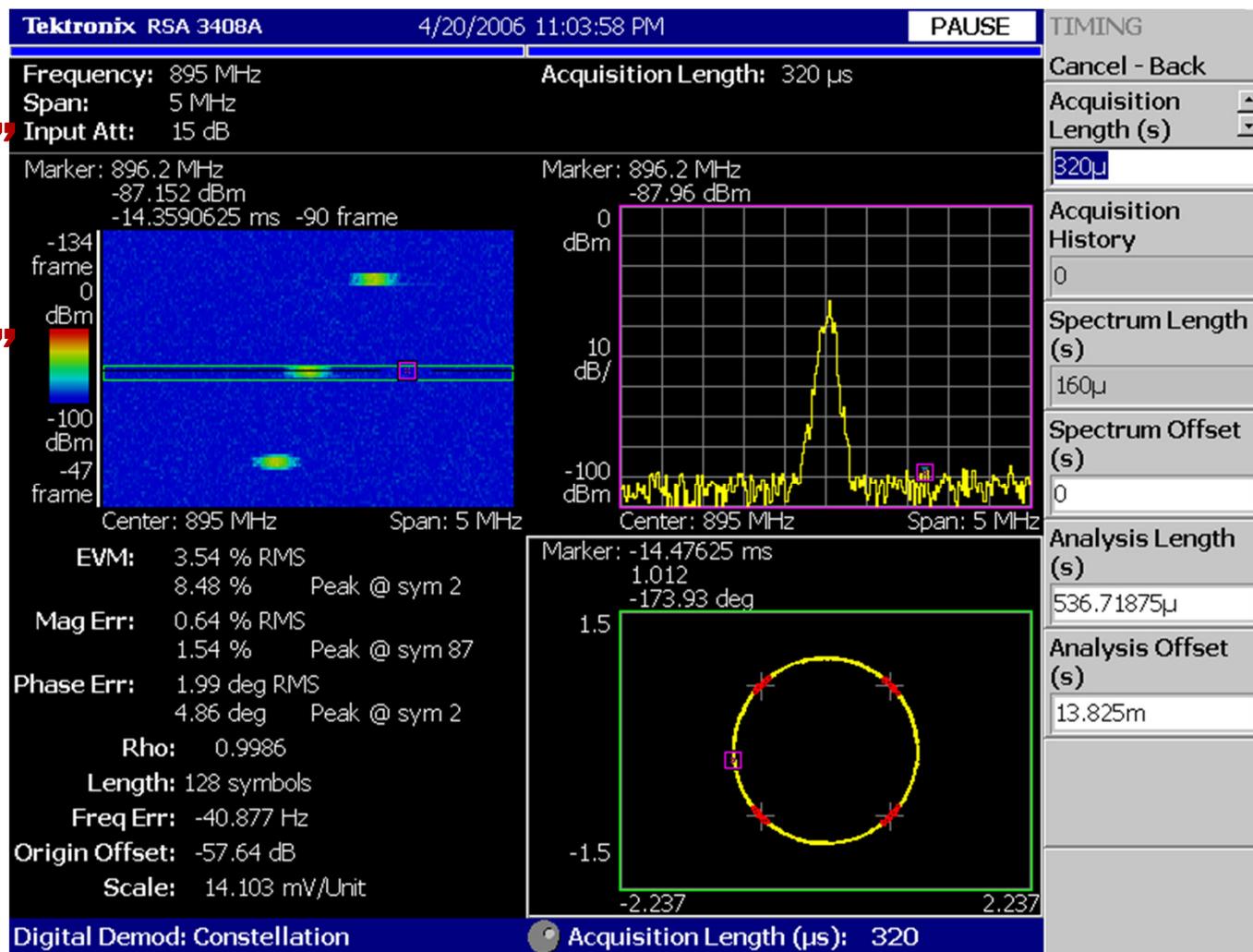
- DPX显示信号出现的概率,从而判断信号特征

发现有问题的跳频点

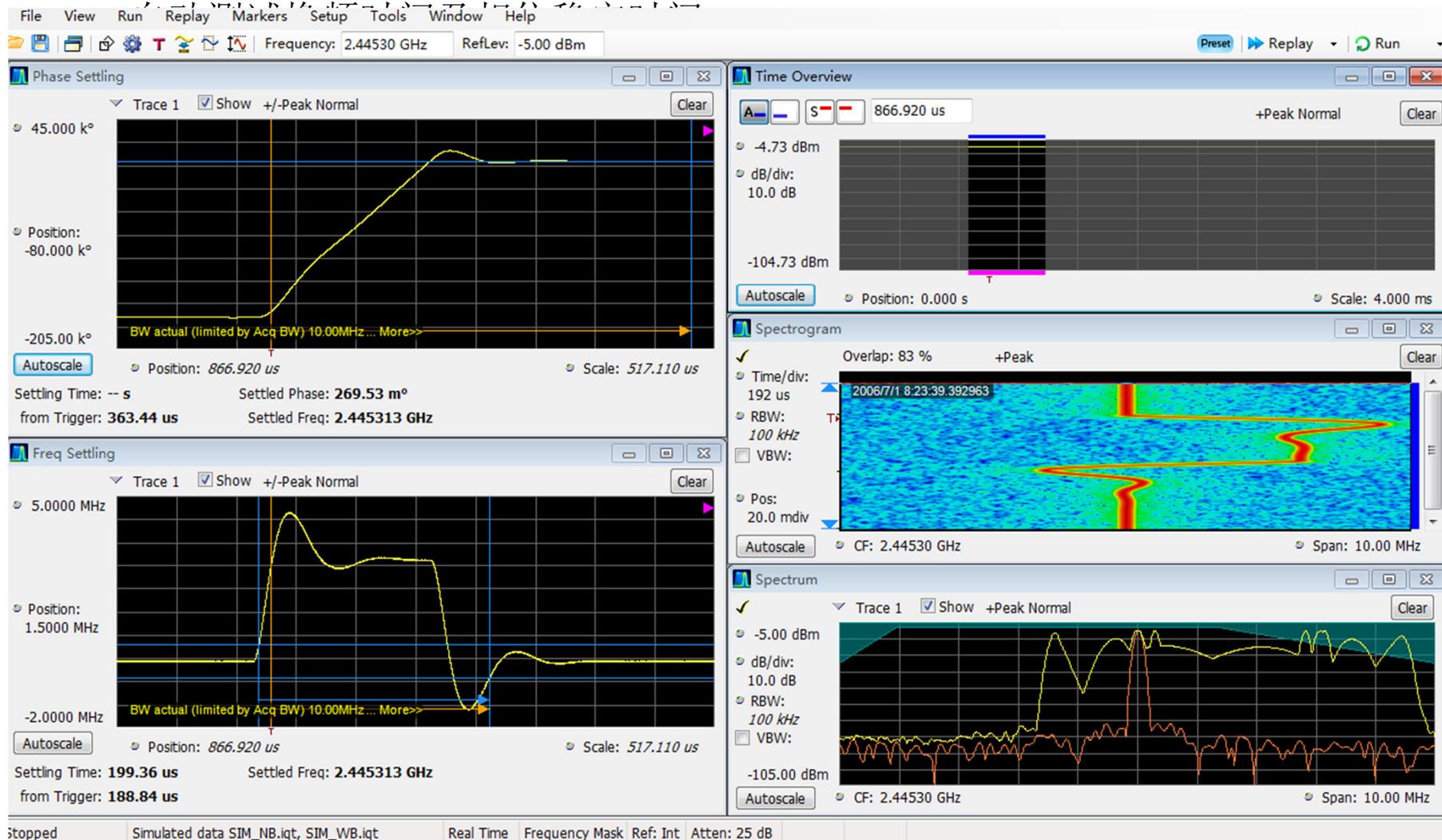


对跳频信号进行解调分析

“指哪打哪”
和
“打哪指哪”

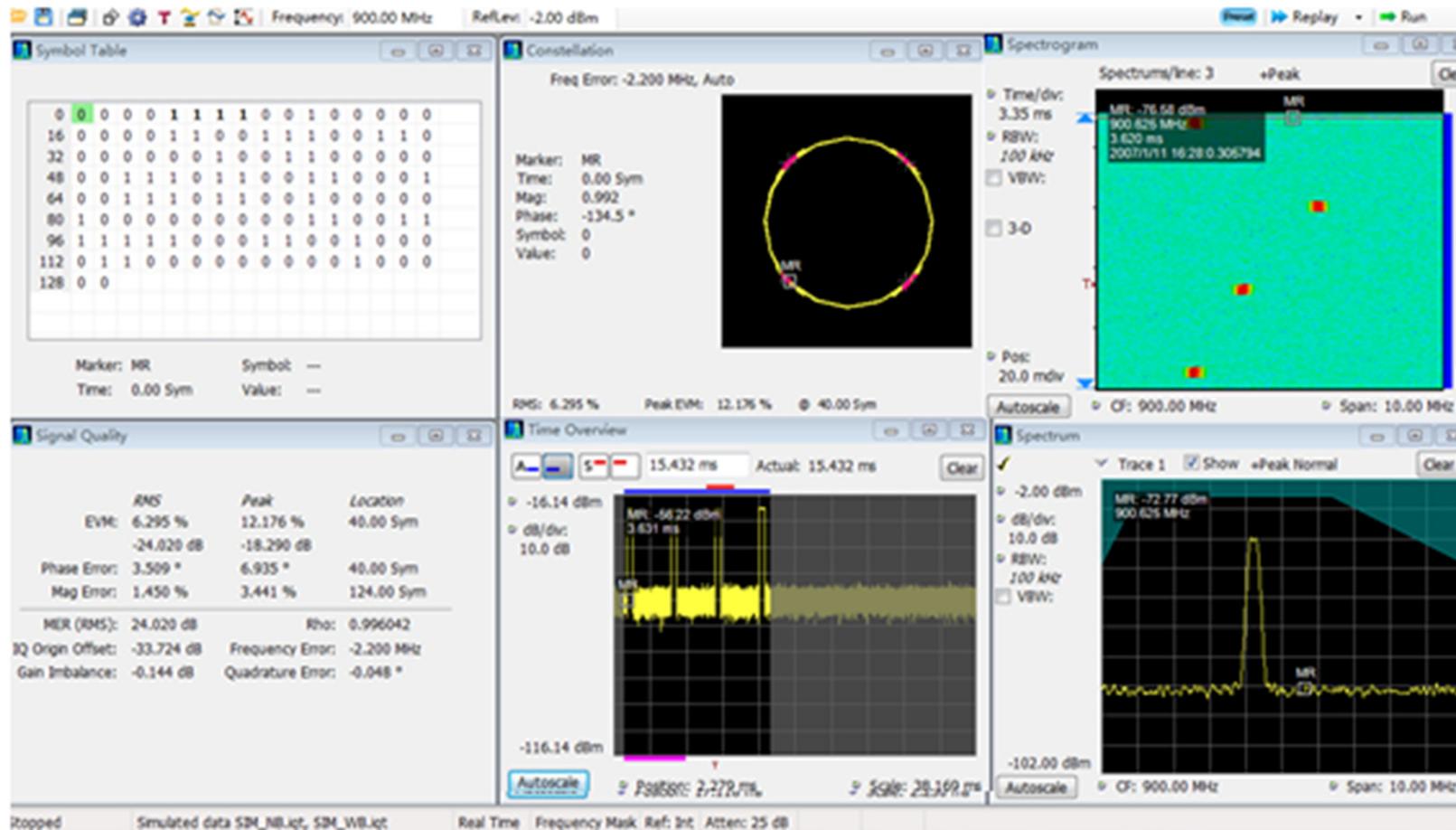


时间关联多域分析 – 跳频信号换频时间的测量



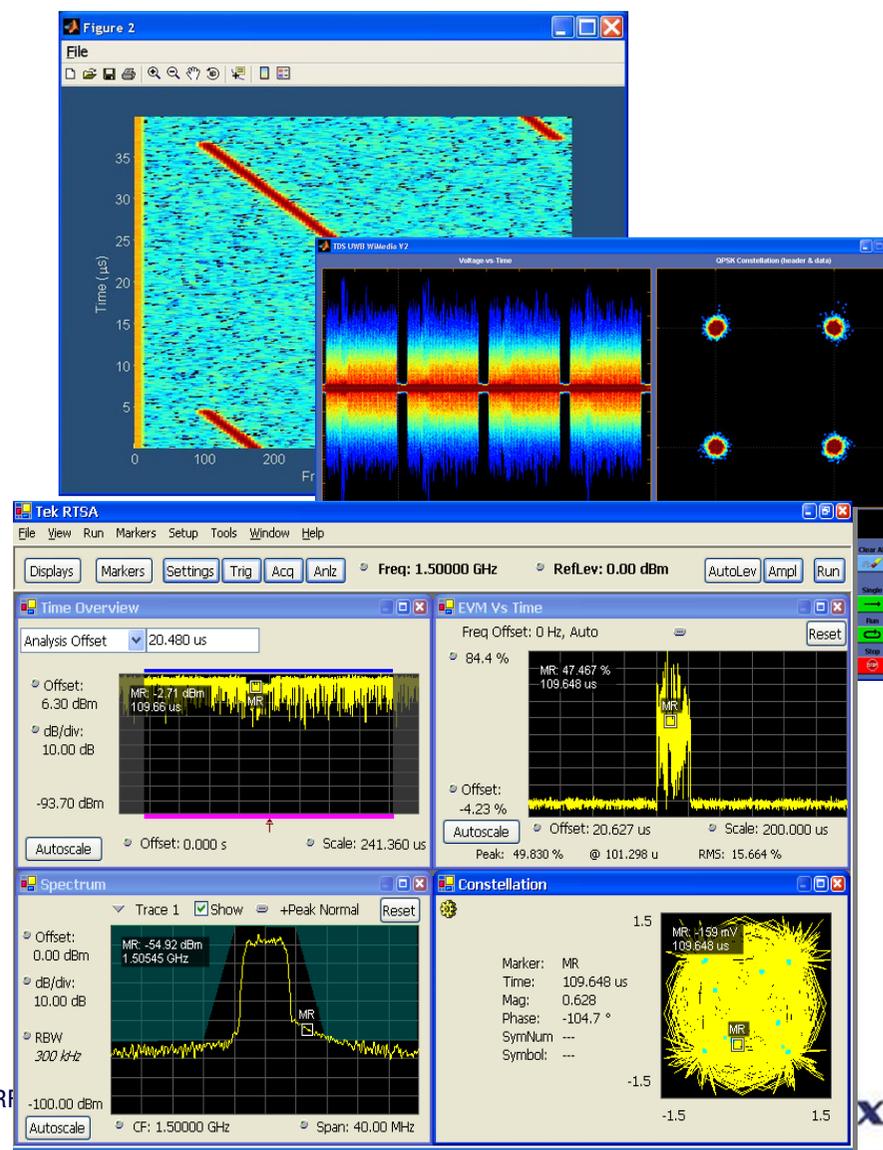
对时变信号进行矢量分析

- “指哪打哪” -RTSA
 - 先触发、选时间窗、再分析
- “打哪指哪” -VSA
 - 先采集、再分析



示波器作为宽带、超宽带信号采集和分析工具

- 110M以上的调制信号，如何分析？
 - 频谱仪是窄带接收机
 - VSA、RTSA动态范围高，但是110M以上的调制信号无法分析
 - 专用接收机
- 示波器——最通用的宽带接收机
 - 泰克示波器，可以提供最高达33GHz带宽，可直接采集分析射频信号
 - 配合各种分析软件，对调制参数进行测量



宽带信号分析的需求（矢量分析软件+示波器）

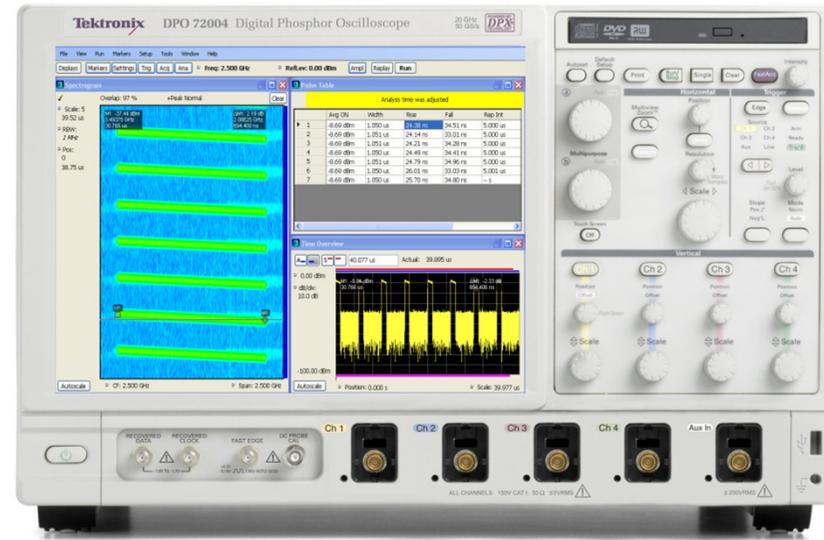
(分析带宽 > 110 MHz)

- 超宽带雷达信号
 - SAR 雷达-带宽超过2G
 - 窄脉冲雷达—（如1ns 脉冲宽度）
 - 捷变频雷达 —带宽达到500M
- 宽带通信
 - 卫星通信-带宽达到800M
 - UWB 通信—带宽达到1G
 - 扩频通信
- 频率跳变信号
 - 跳频电台—带宽达到100M
 - 其他跳频通信系统



硬件平台

- SignalVu
 - DPO/DSA70k and DPO7k series
 - 33G的示波器带宽
 - 100G的采样率
 - 内存



SignalVu 的功能

- 时间相关多域观测
- 雷达分析功能
 - 脉内解调
 - 多脉冲分析
 - 捷变频分析
 - 脉冲分析软件
- 数字通信分析功能
 - 分析区域的选择
 - 多域分析
 - 跳频信号分析
 - 宽带信号解调

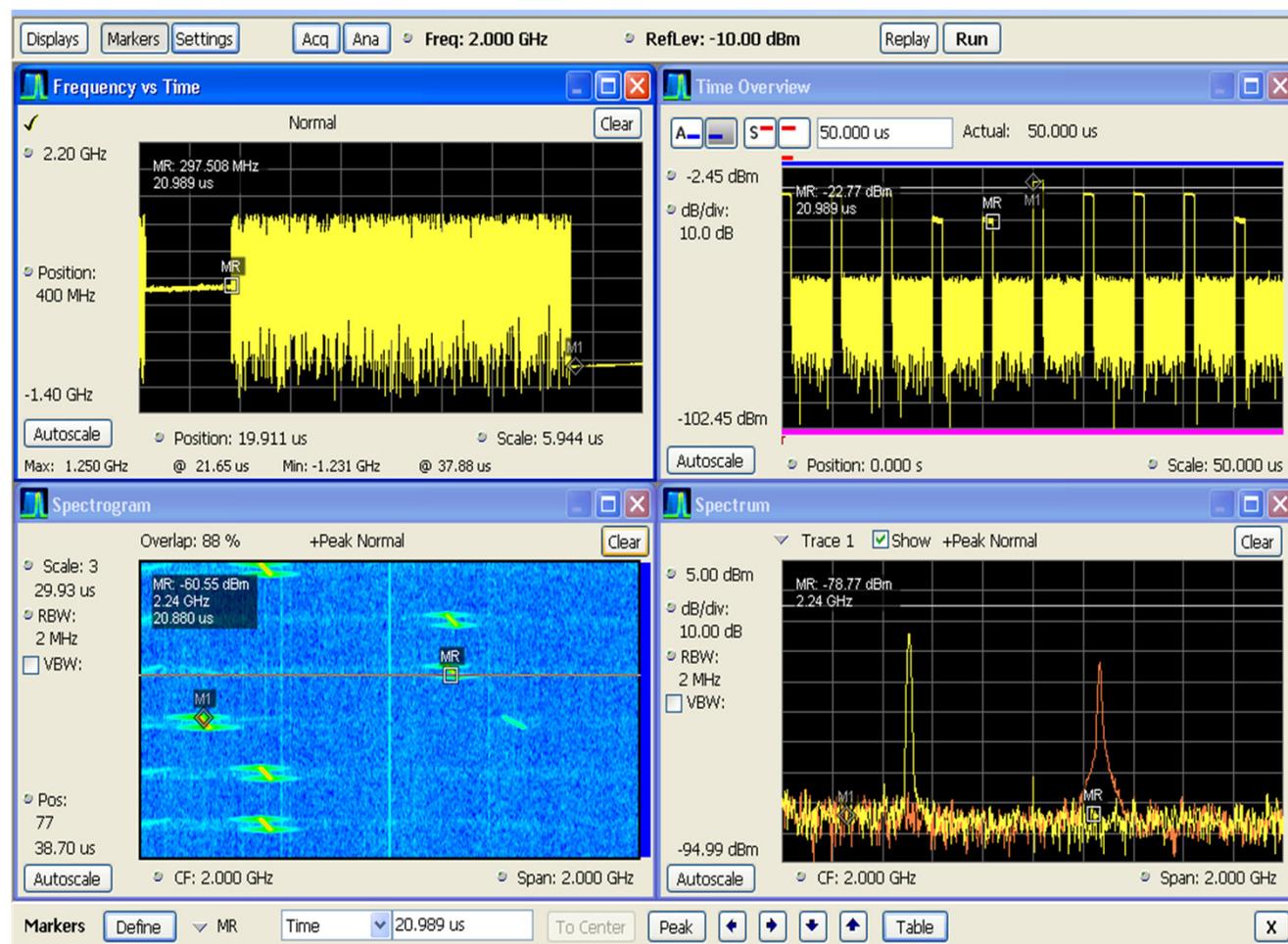
SignalVu真正的时间相关多域观测

■ Time overview
作为多域相关的
核心

■ 三维频谱图也
可以和其他域相
关测量

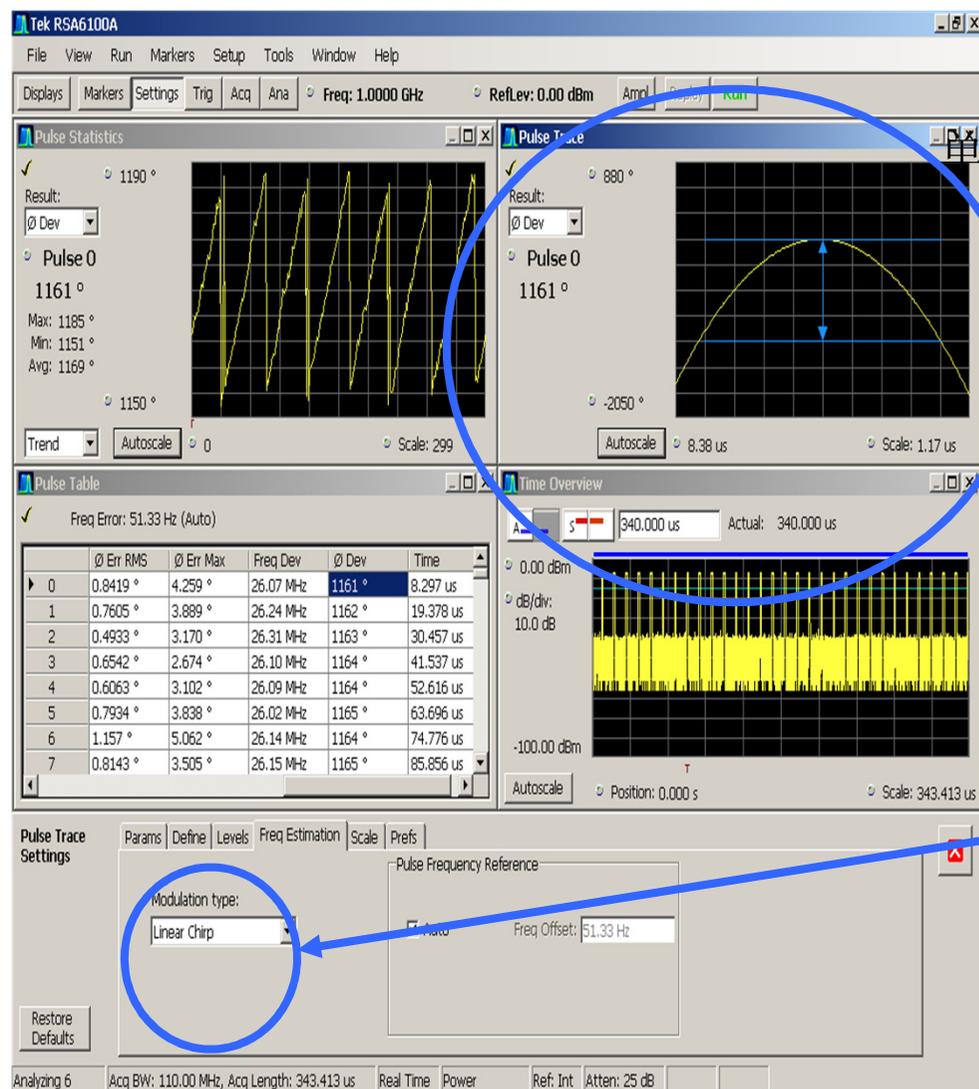
■ 可以计算两个
频谱，一个用
Chrip-Z方式计算
，另外一个用FFT
方式计算，一个用
来观测频谱，一个
用来分析频谱随
时间的变化

■ 分析窗和频谱
窗各自独立



SignalVu对雷达信号的分析

- 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



单脉冲的相位偏差

调制类型为线性调频

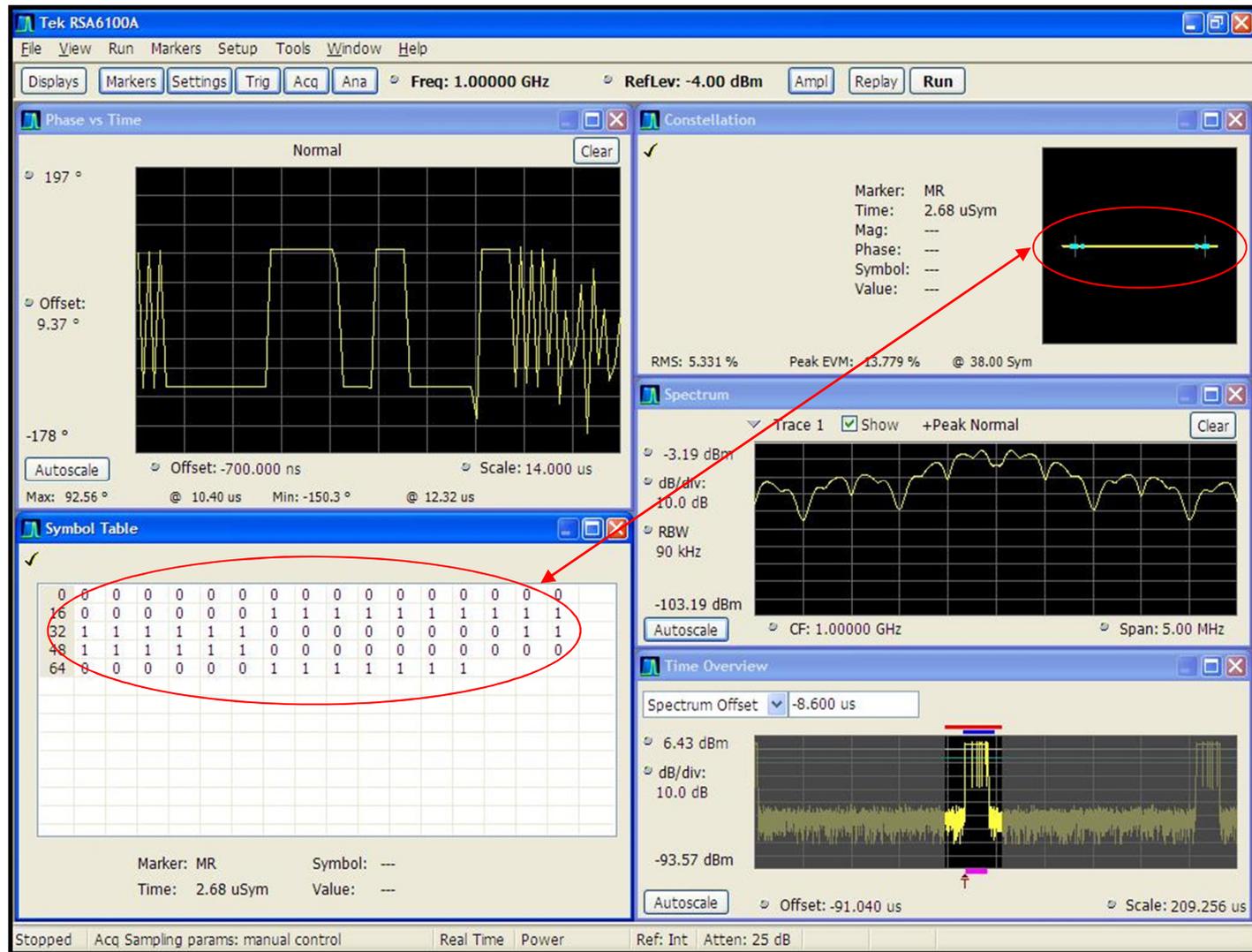
SignalVu对宽带调制信号的分析功能

■ 同时进行
模拟数字解
调

■ “指哪打
哪”

■ 分析窗和
频谱窗个
子独立

■ 可变分析
窗, 矢量分
析和频谱分
析各不耽
误

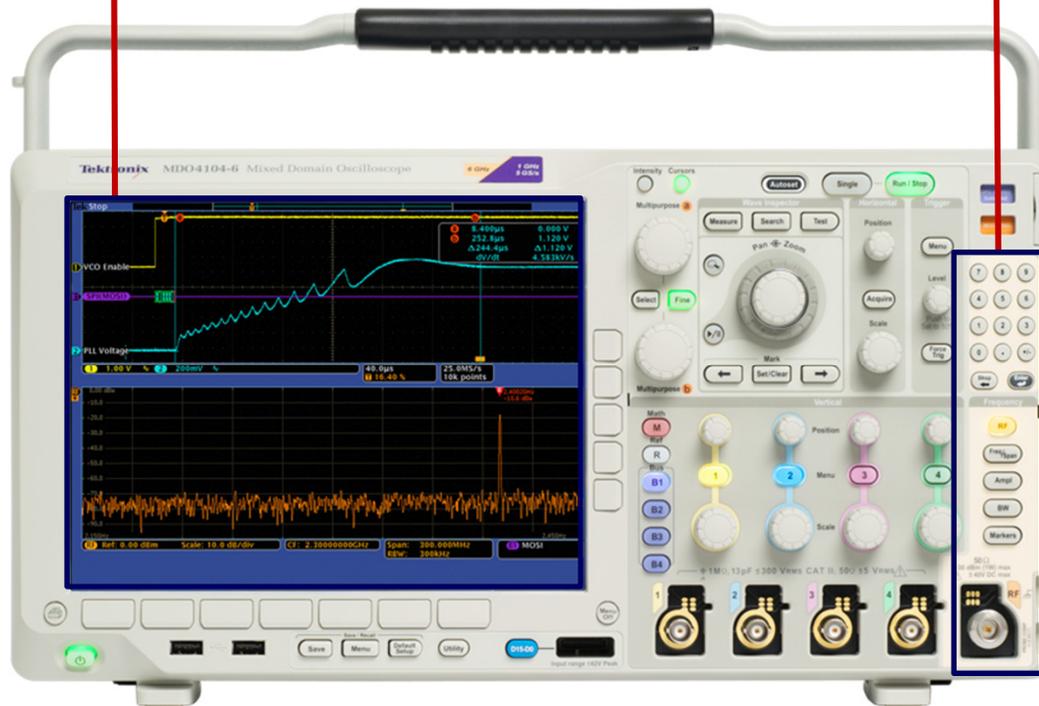


泰克 MDO4000系列

全球最受欢迎的混合信号示波器

内置频谱分析仪

- 专用RF路径
- 3或6 GHz输入
- ≥ 1 GHz带宽

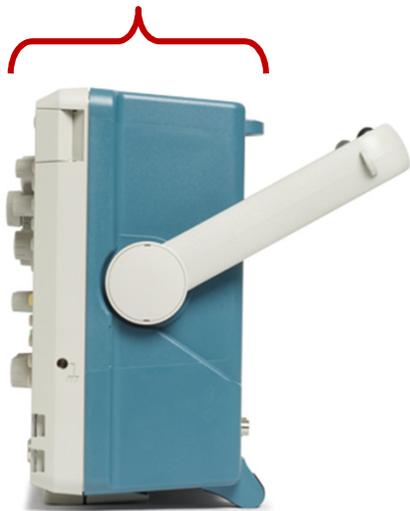


外型小巧，眼前一亮

集多种仪器功能于一台示波器

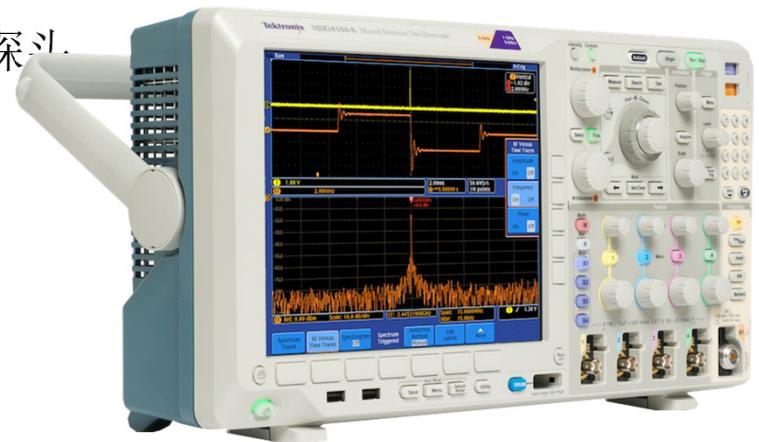
- 示波器
- 逻辑分析仪
- 频谱分析仪
- 协议分析仪

深度仅 5.8英寸！



多个真正的业内第一

- **业内第一款** 集成频谱分析仪的示波器
- **业内第一款** 集成的模拟，数字，RF采集系统
- **业内第一款** 实现频谱分析时间
- **业内第一款** 实现最高达3 GHz的捕获带宽
- **业内第一款** 拥有综合RF触发
- **业内第一款** 拥有自动RF标记
- **业内第一款** 提供电流、电压、差分RF探头



雷达脉冲参数测量与调制分析

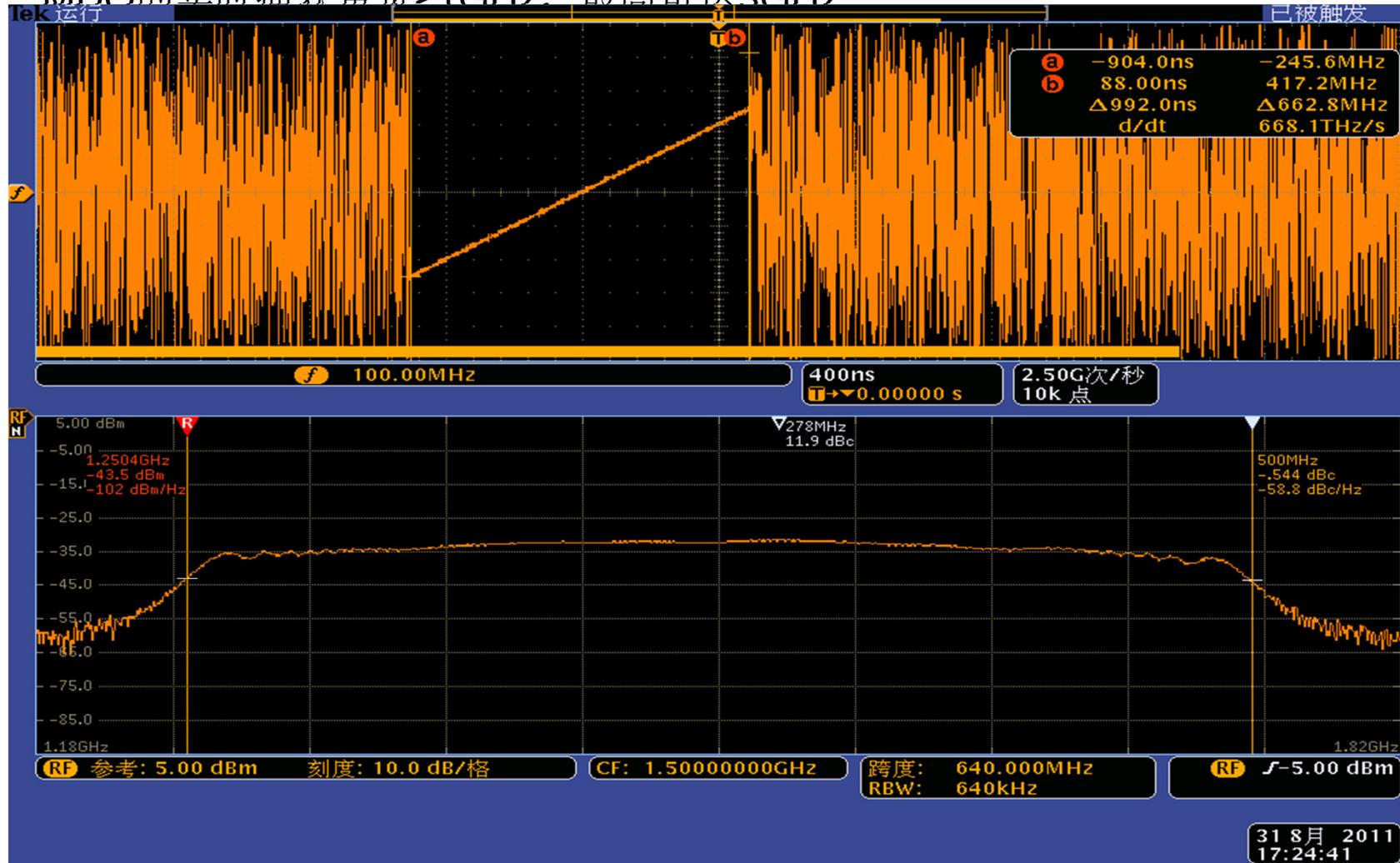


超带宽实时捕获

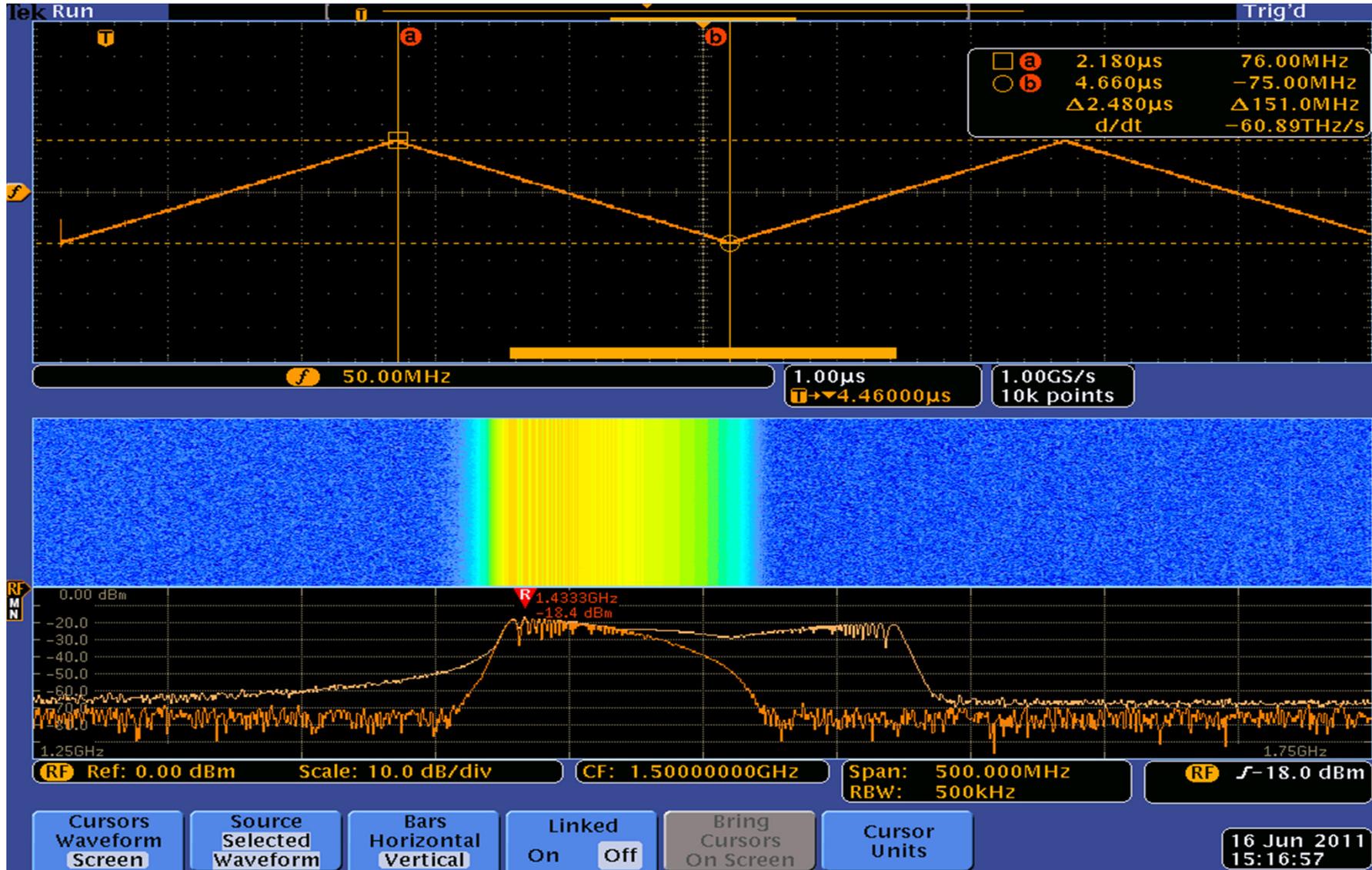


观测更宽调频范围的LFM雷达信号

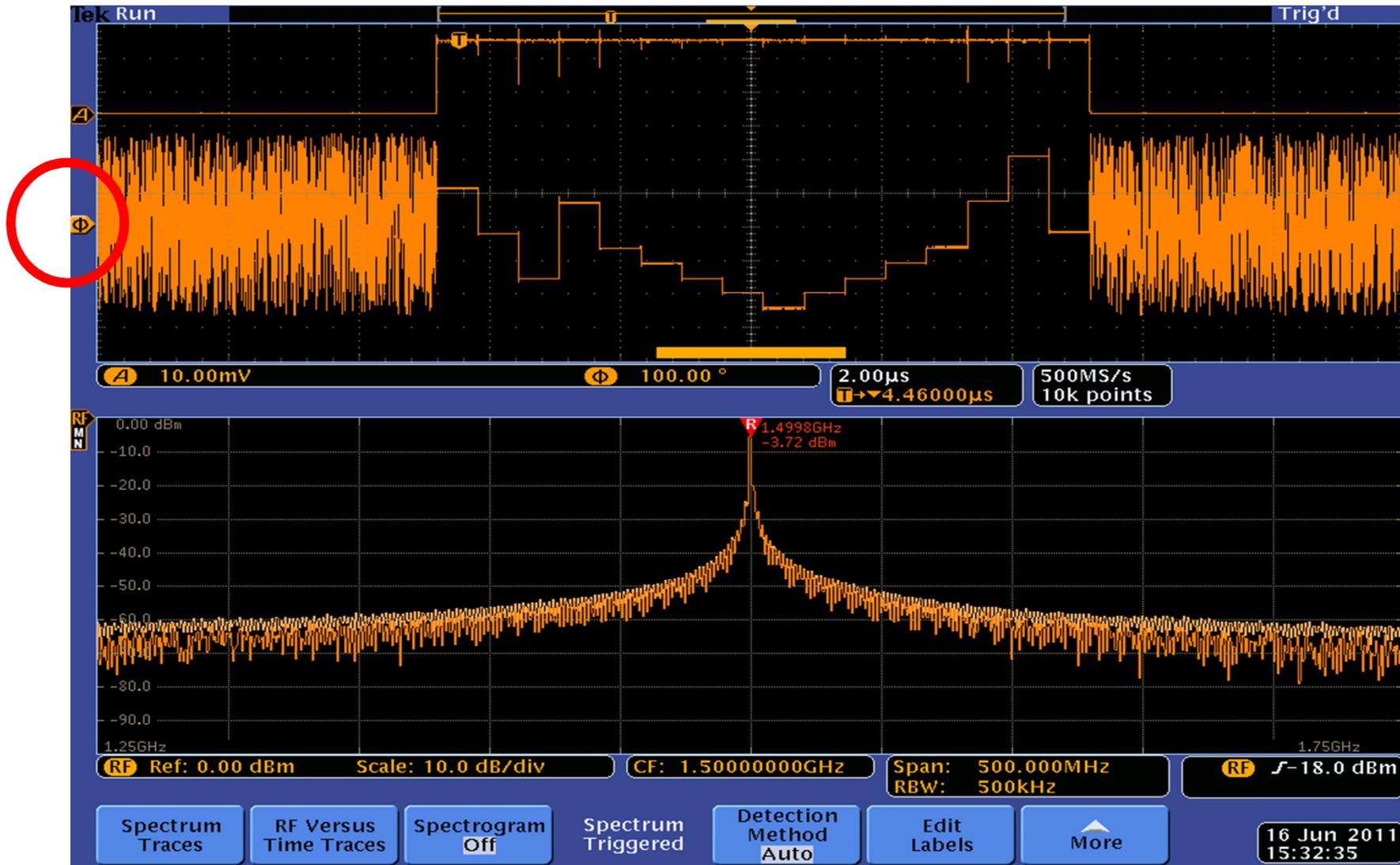
MDO的实时捕获带宽>1GHz，最高可达3GHz



双向的chirp雷达信号

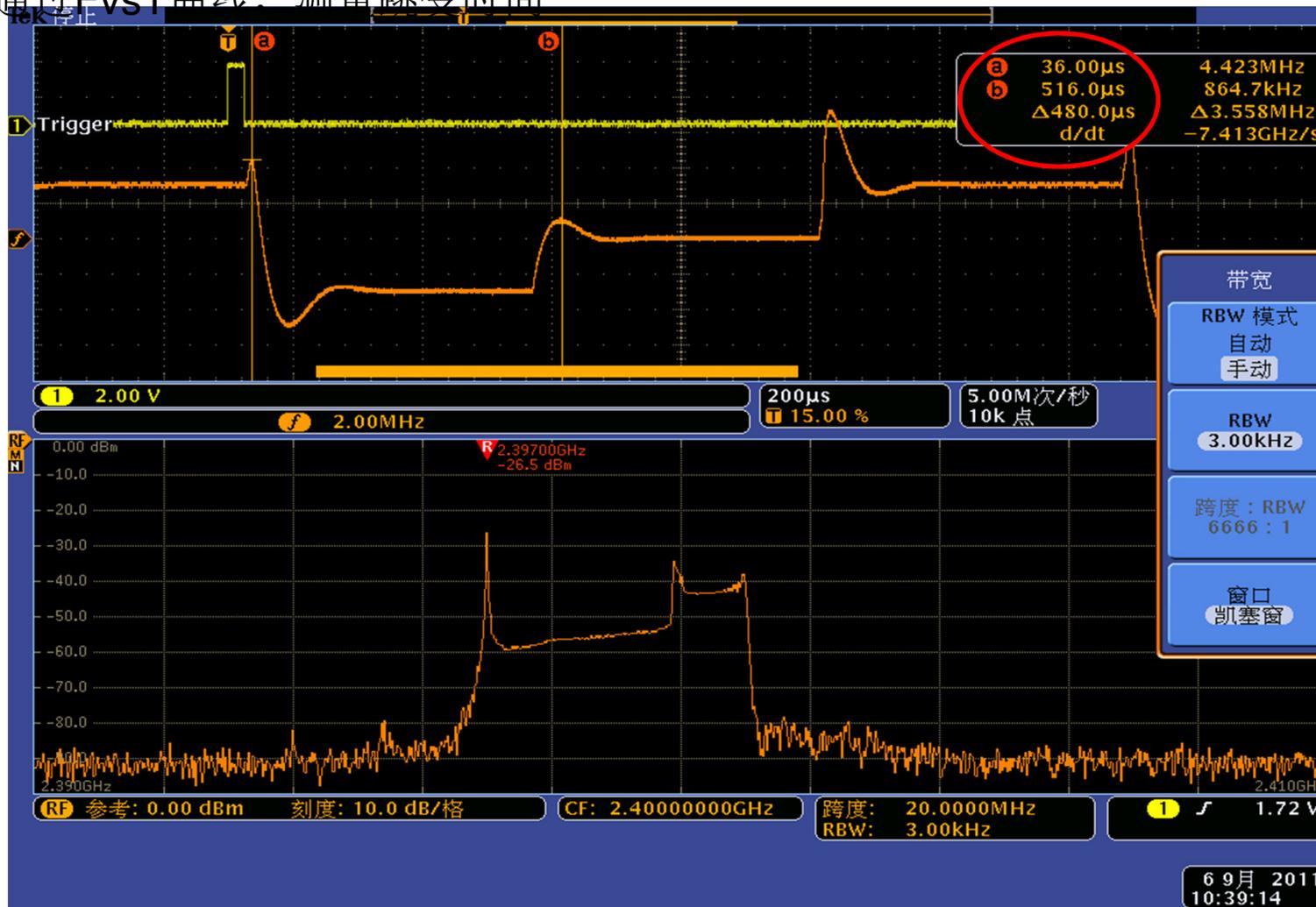


相位调制雷达信号，共8种相位

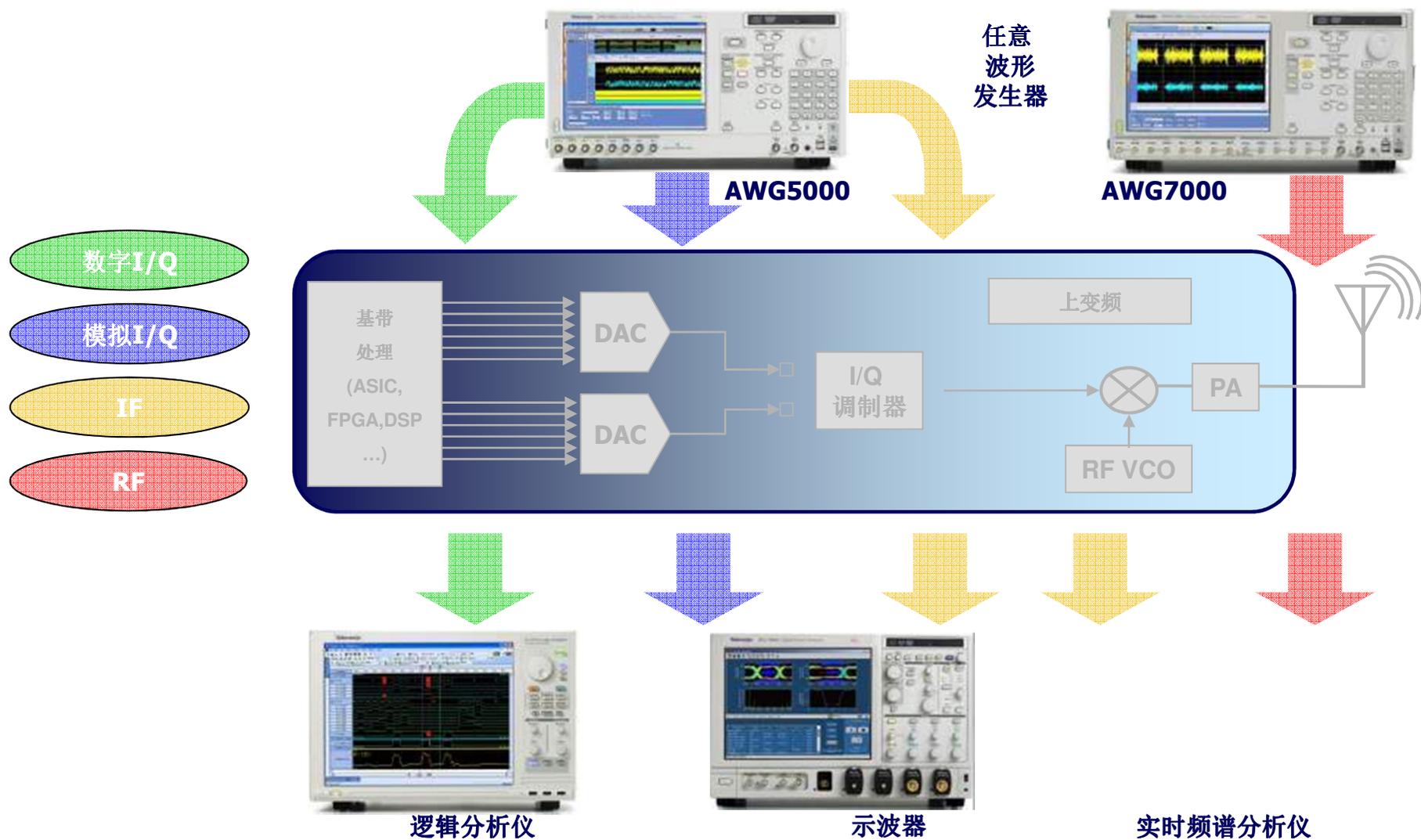


MDO在跳频通信中的应用

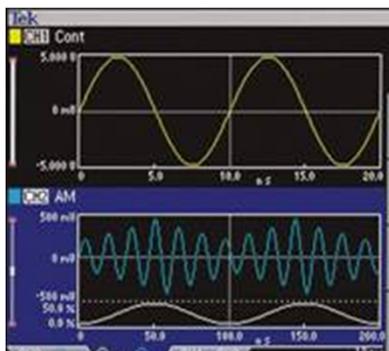
- 通过FvsT曲线，测量跳变时间



无线技术无处不在, 数字RF测试
泰克数字RF测试解决方案



Tektronix®



谢谢！