



Tektronix

超宽带复杂电磁环境信号产生与 实时分析技术

议程

AGENDA

- 超宽带复杂电磁环境信号测试挑战
- 泰克超宽带复杂电磁环境信号产生与实时分析技术测试方案
 - 复杂电磁环境信号的监测
 - 复杂电磁环境信号的截获
 - 复杂电磁环境下的宽带雷达信号的测试方案
 - 复杂电磁环境下的宽带通信信号的测试方案
 - 超宽带多通道测试解决方案
- 小结

超宽带信号市场需求趋势



高速通信

希望更好地利用网络容量



宽带RF技术

满足日益提高的信息需求
- **带宽越宽，信号越复杂**

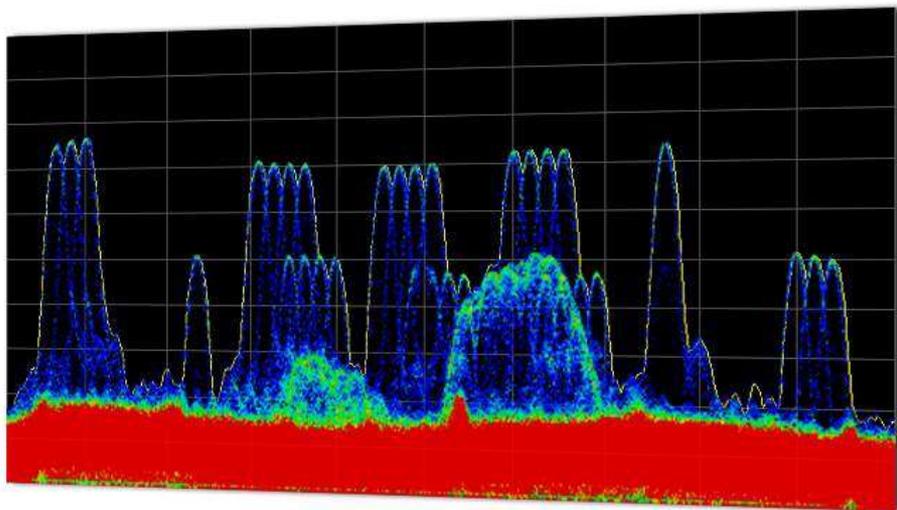
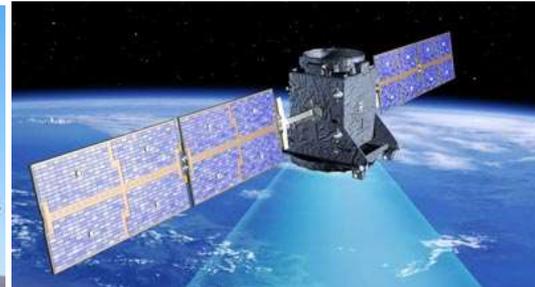


串行数据带宽

在多种快速标准推动下，
复杂程度不断提高

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



复杂电磁环境测试挑战

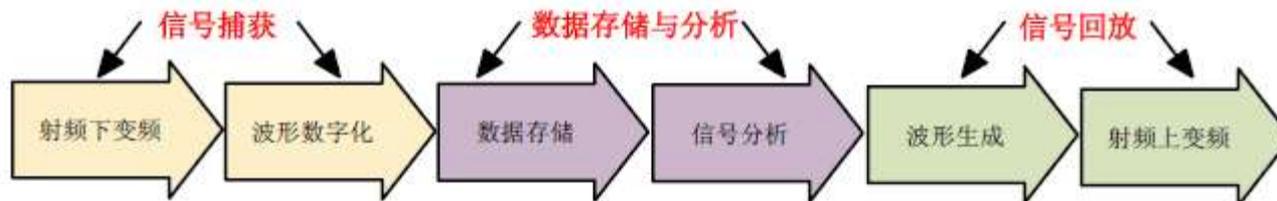
- 必须动态监测频谱活动
- 猝发信号，突发干扰的发现和定位
- 实时记录并回放复杂背景下的信号
- 复杂电磁环境的定量分析
- 复杂电磁环境的产生和加扰



© 2010 02/2010 0111-000000

泰克复杂电磁环境测试系统的构成

实时频谱仪，任意波形发生器，宽带示波器，实时信号记录和回放系统

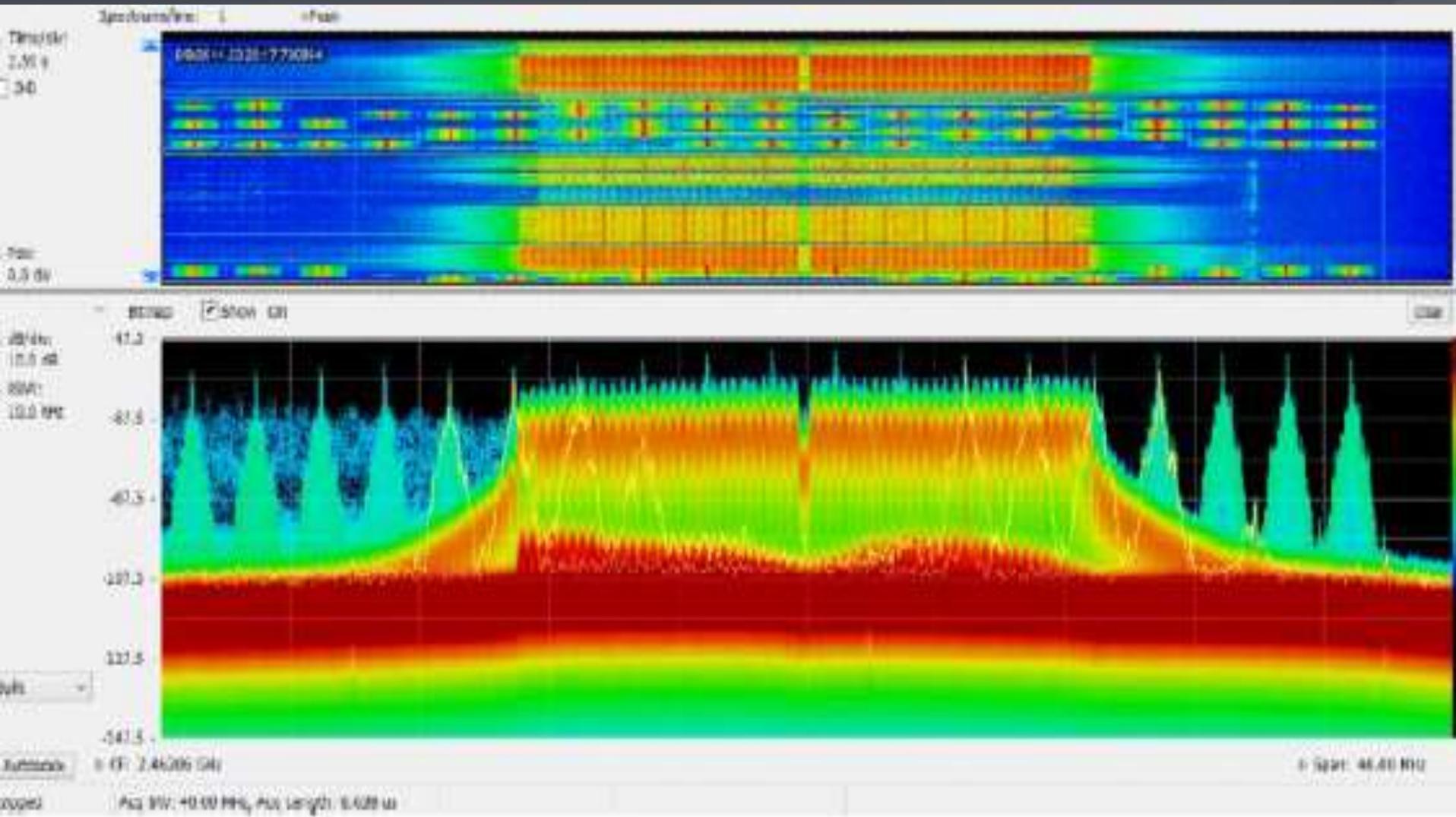


适合应用

- 复杂电磁环境：复杂电磁环境信号的分析记录和回放，复杂电磁环境的评估
- 雷达对抗：多部雷达信号同时记录，离线分析和脉冲分选
- 通信对抗：复杂通信信号的记录，后分析和后处理
- 频谱监测：频谱监测和频谱管理的长时间频谱记录，应对下一代频谱监测需求
- 卫星通信：卫星信号的故障监测和记录，载人航天通信系统性能记录
- 导航信号监测

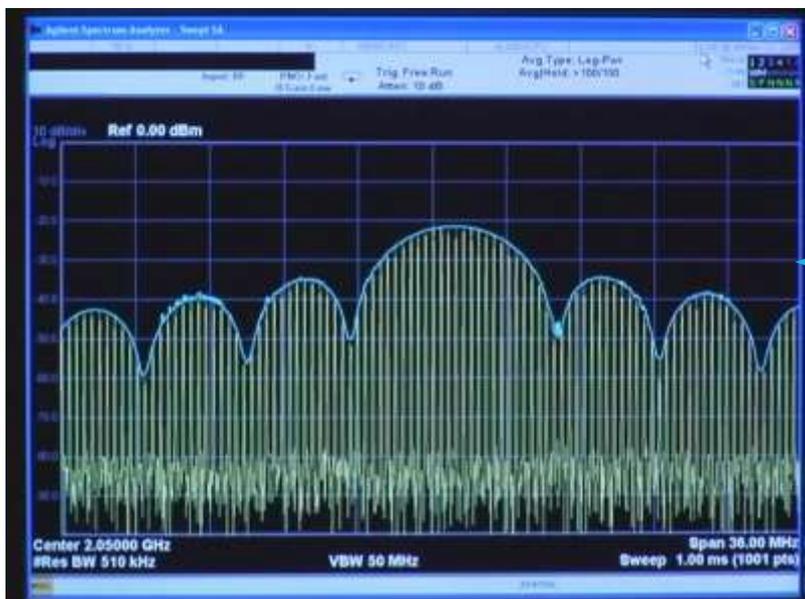


复杂电磁环境下频谱监测



传统测量手段难以发现故障和未知的信号特性

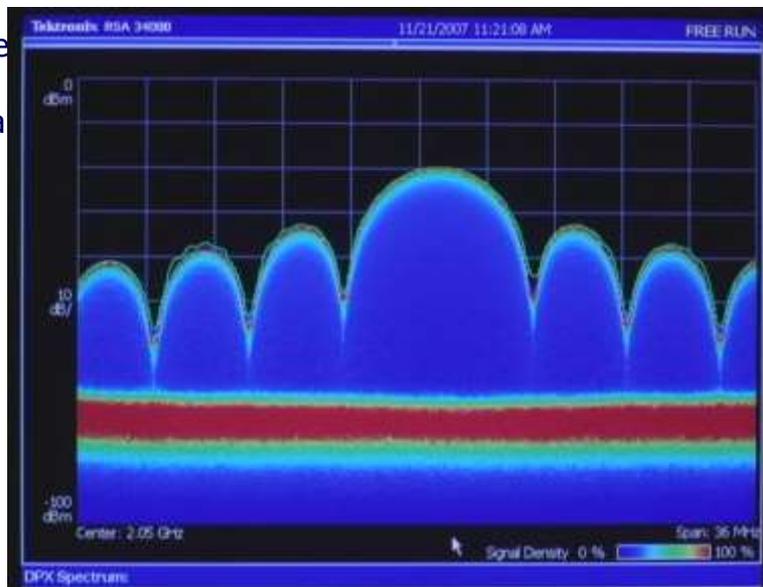
Swept Spectrum Analyzer



Same Test Signal

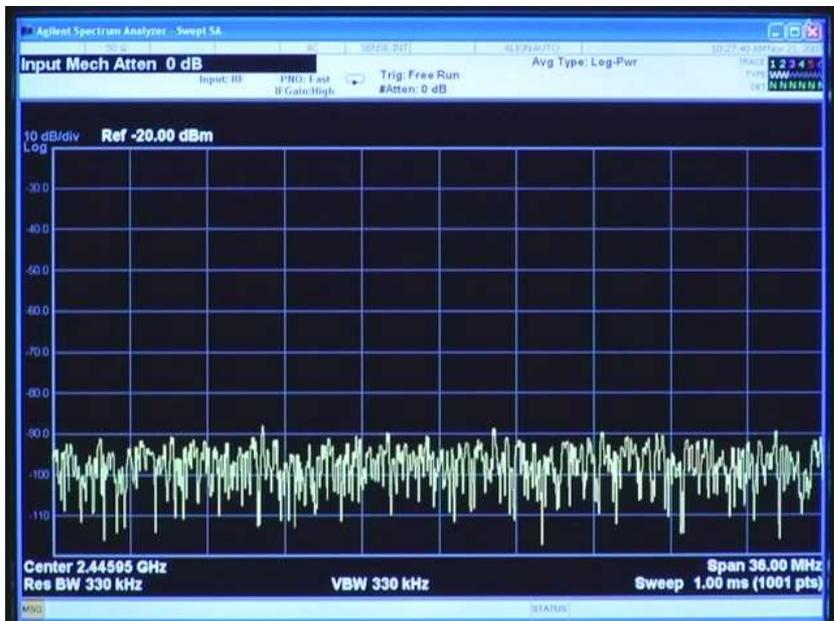
?

RSA6100A with DPX™ Spectral



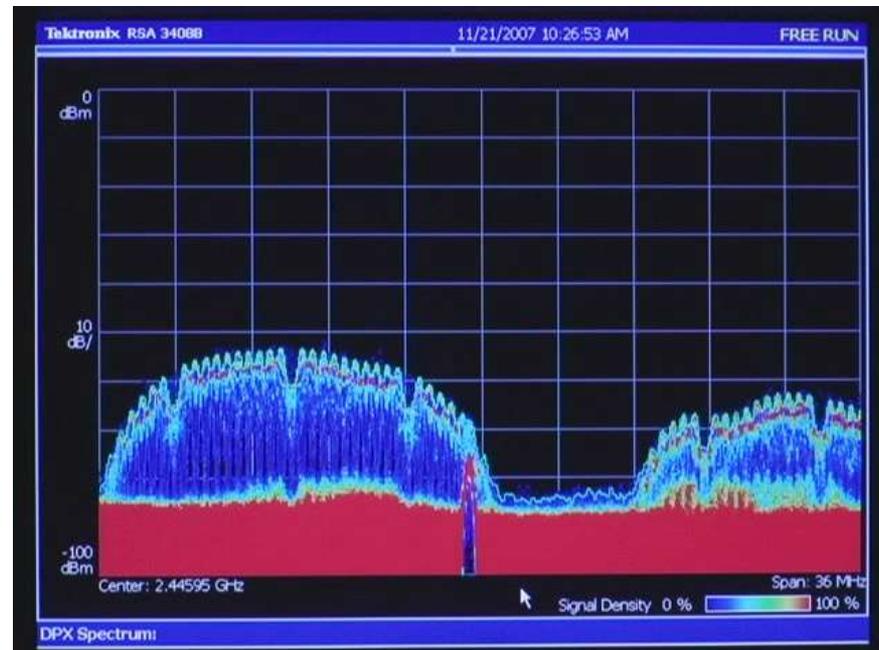
Low Level Signal

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

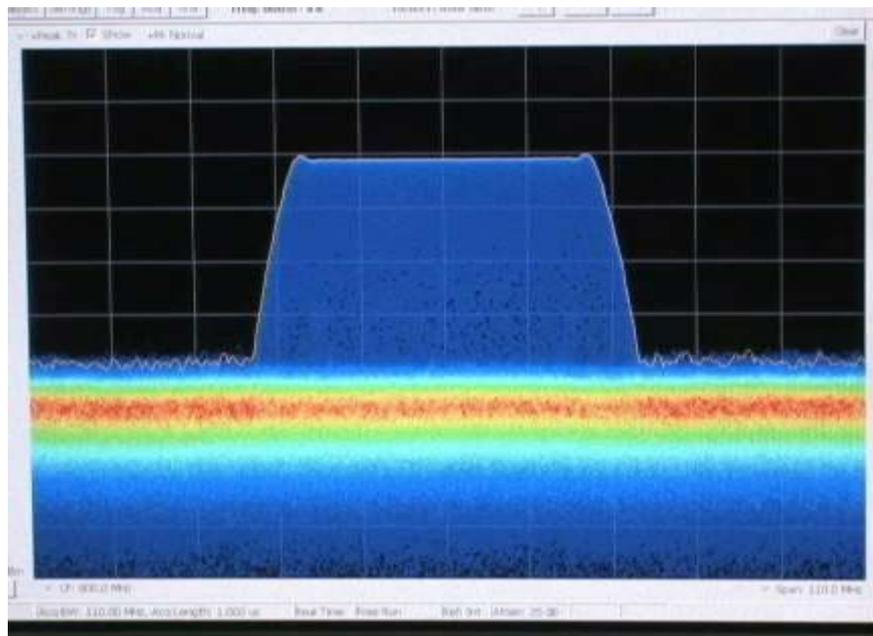
“发现”问题比”解决“问题更重要

- 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



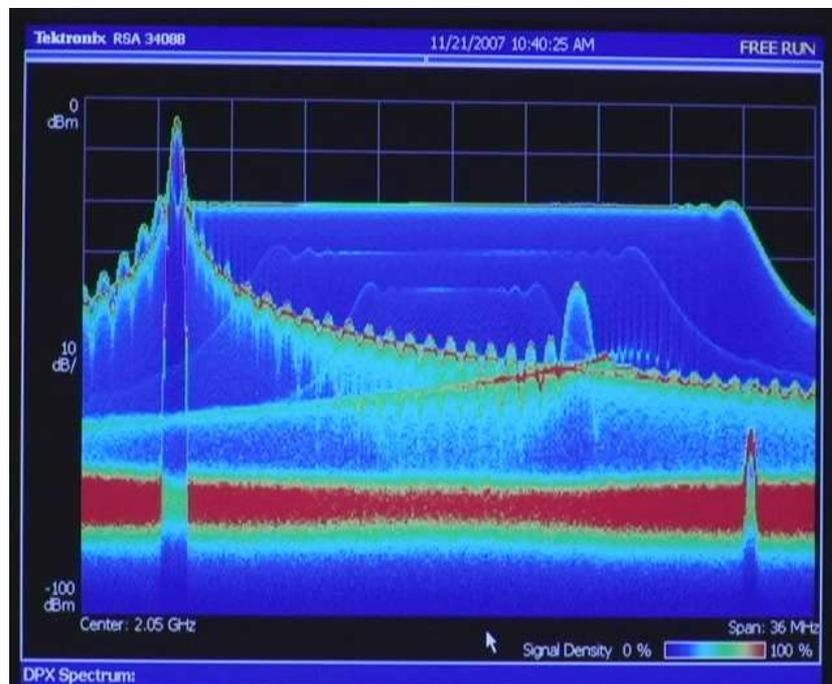
实时频谱观测

- 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

复杂电磁环境实例

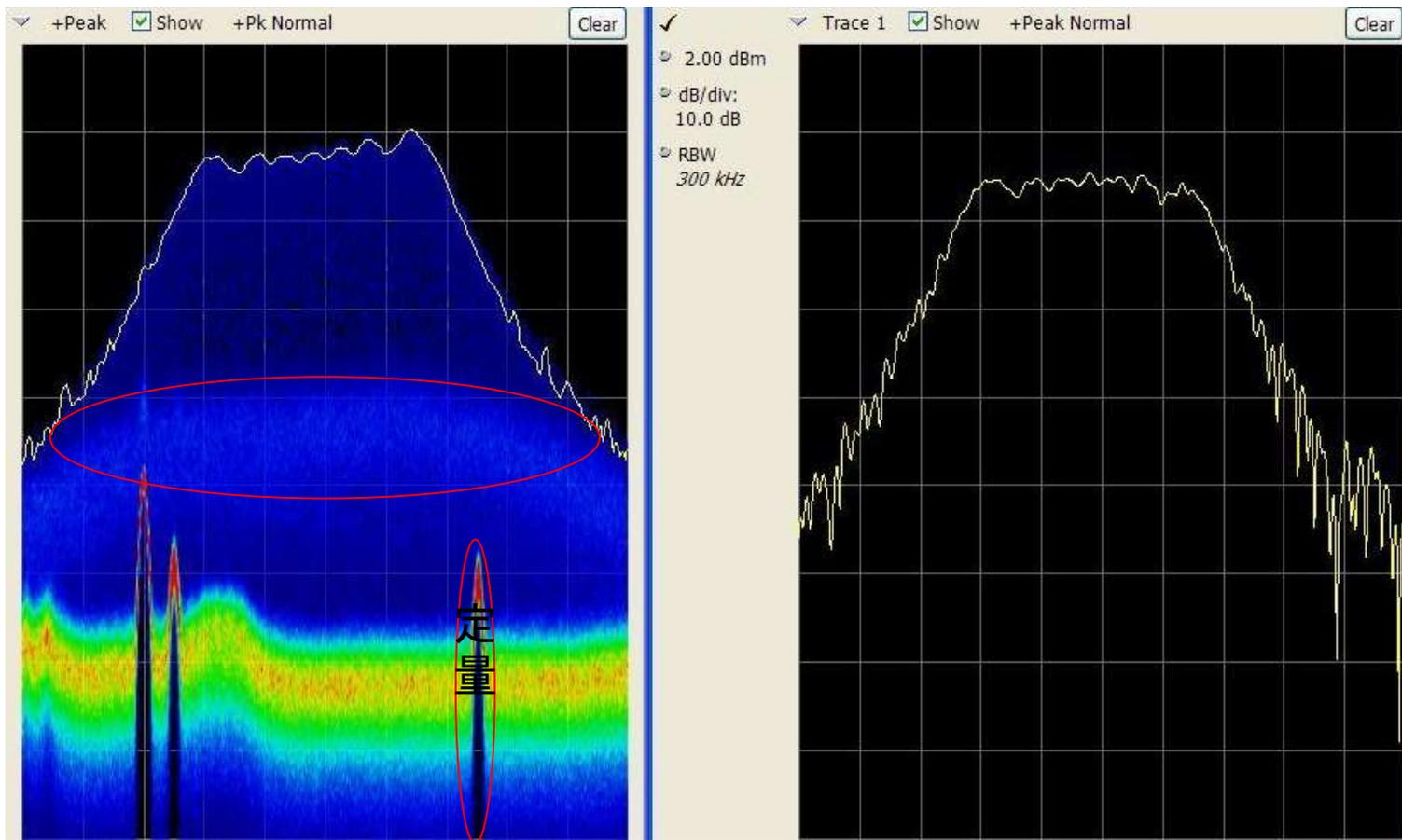
DPX频谱观测

频率上拥挤重叠
雷达信号共用同一频点

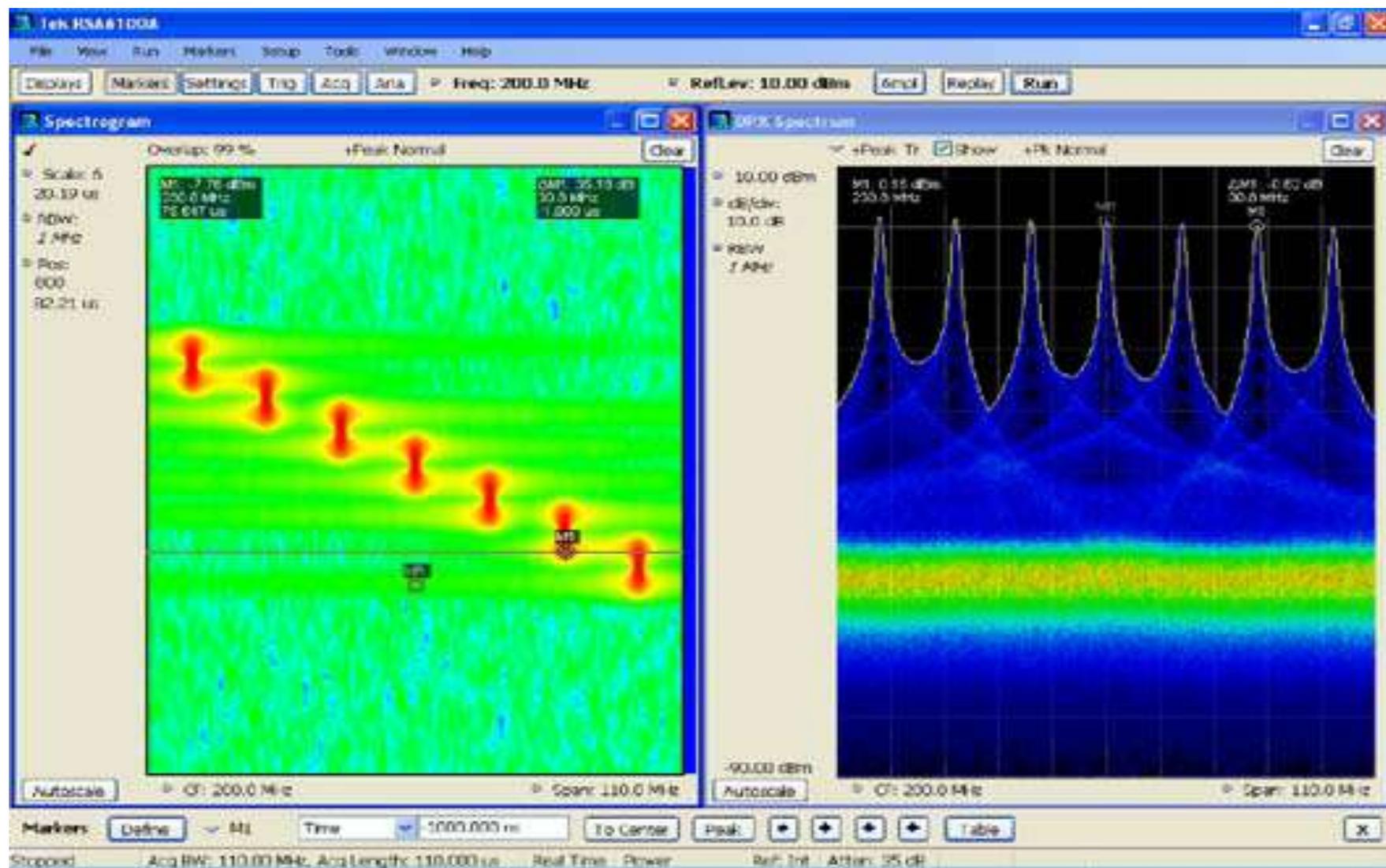


实时发现潜在故障

- 存在本振泄漏
- 存在偶发噪声
- 发现问题比解决问题更重要

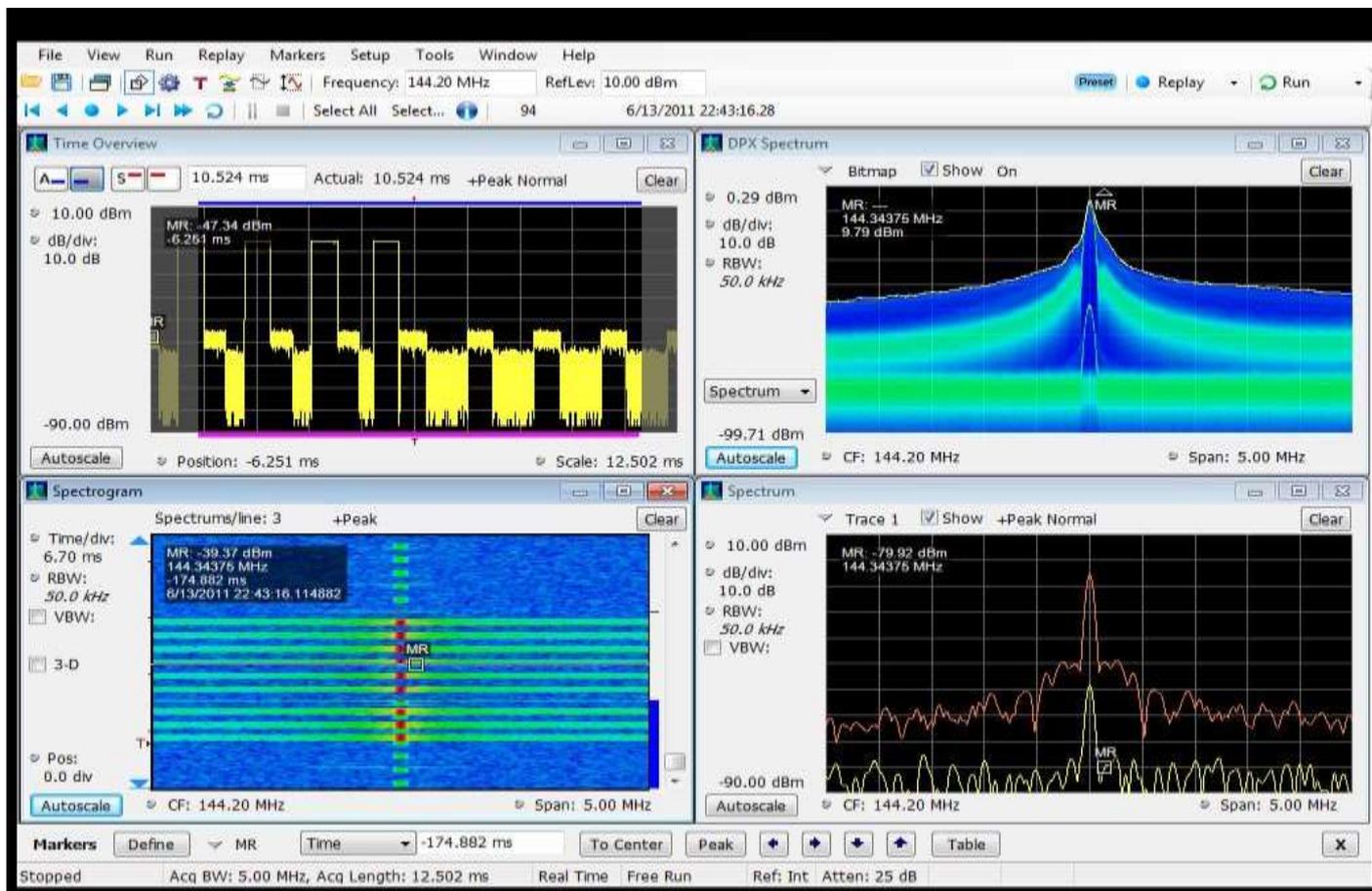


跳频信号监测



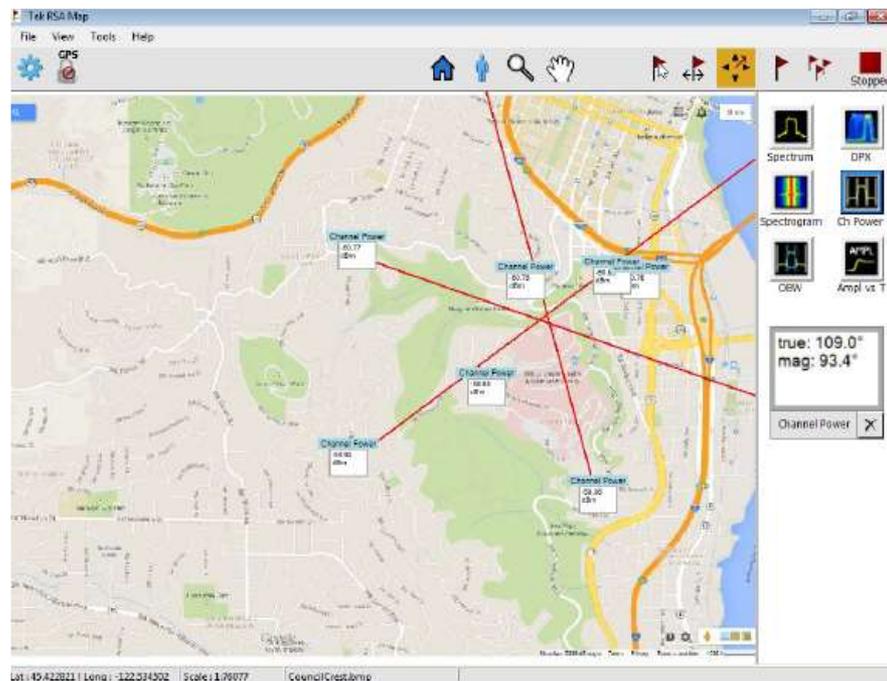
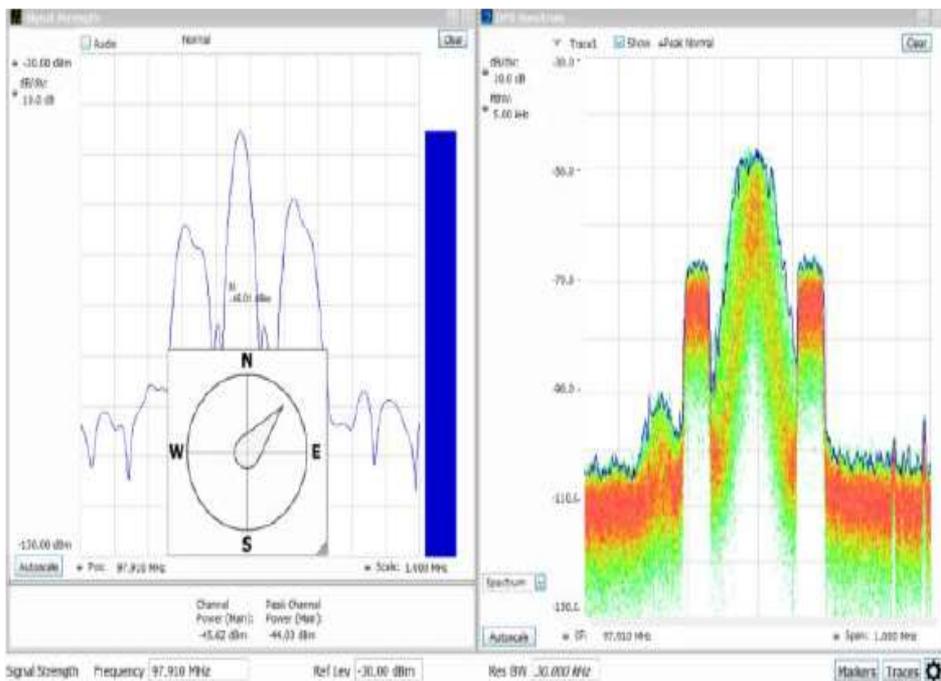
复杂电磁环境实例

- 能量上高低分布
 - 两个同频点信标

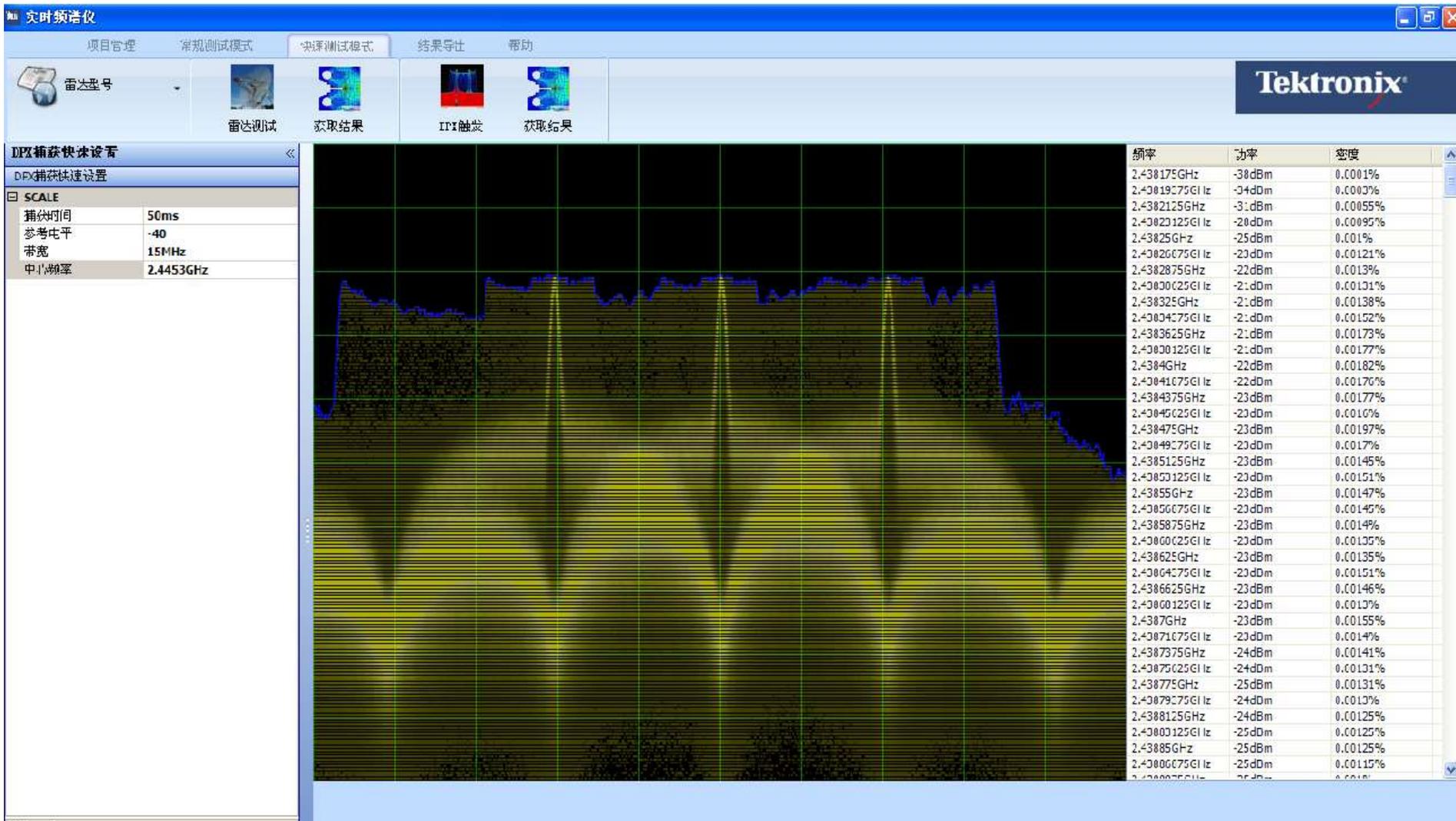


矢量地图在频谱监测中的作用

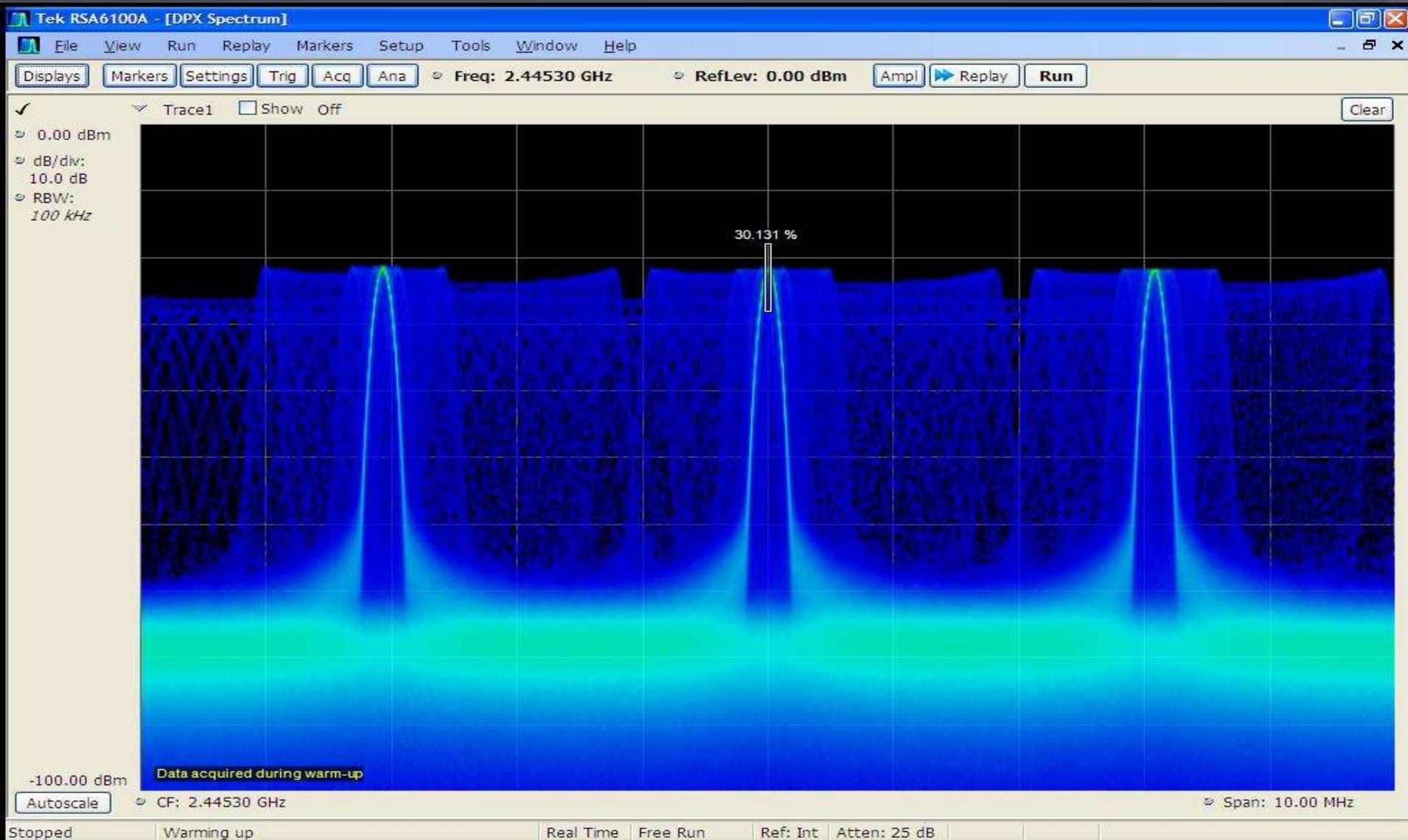
- 路测打点测试
- 方便定位干扰源
- 提供地图标注功能
- **SPECMON**



复杂电磁环境的定量描述 频谱占用度统计



复杂电磁环境下频谱截获和分析

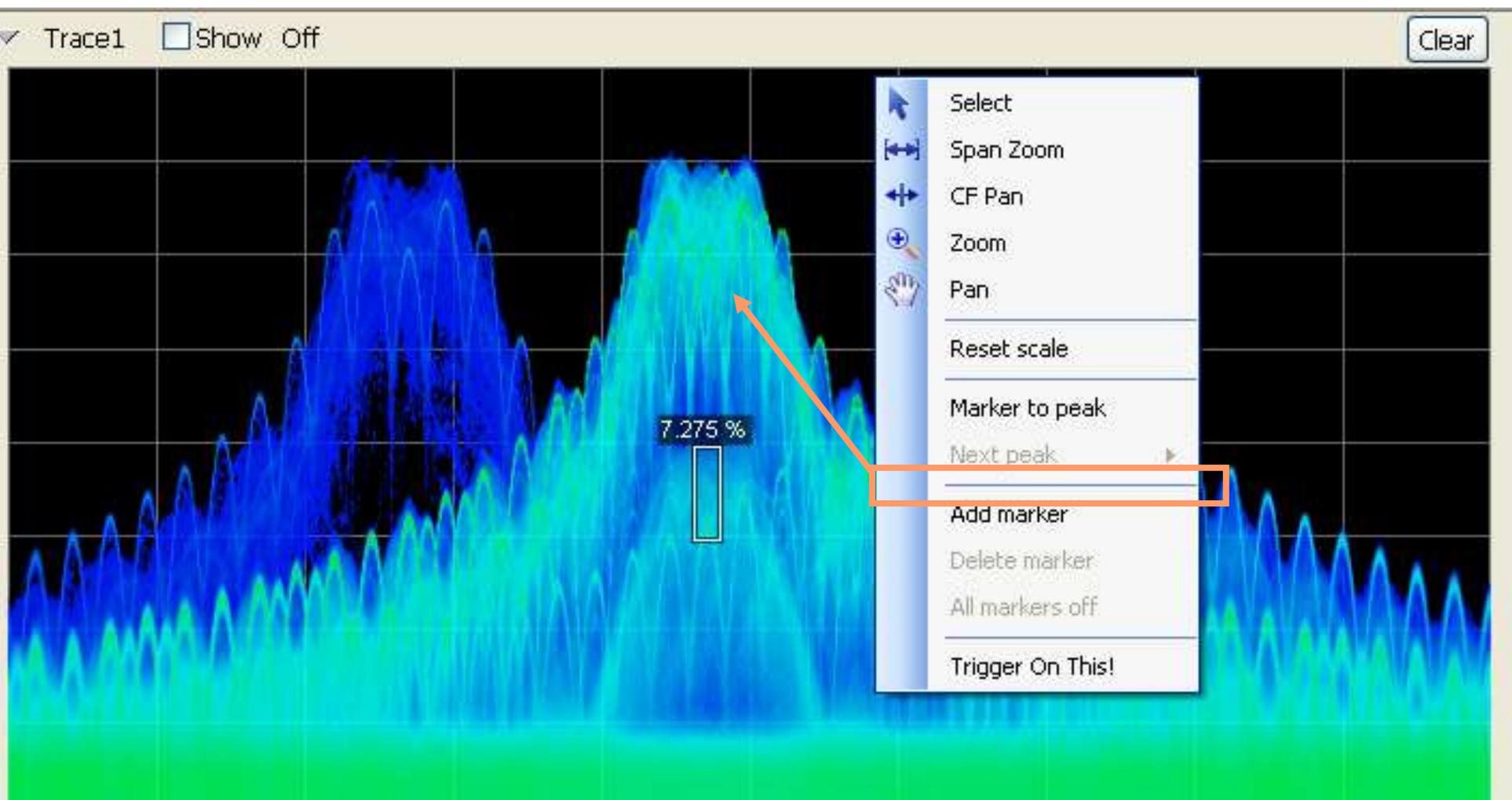


复杂电磁环境下的采集和分析

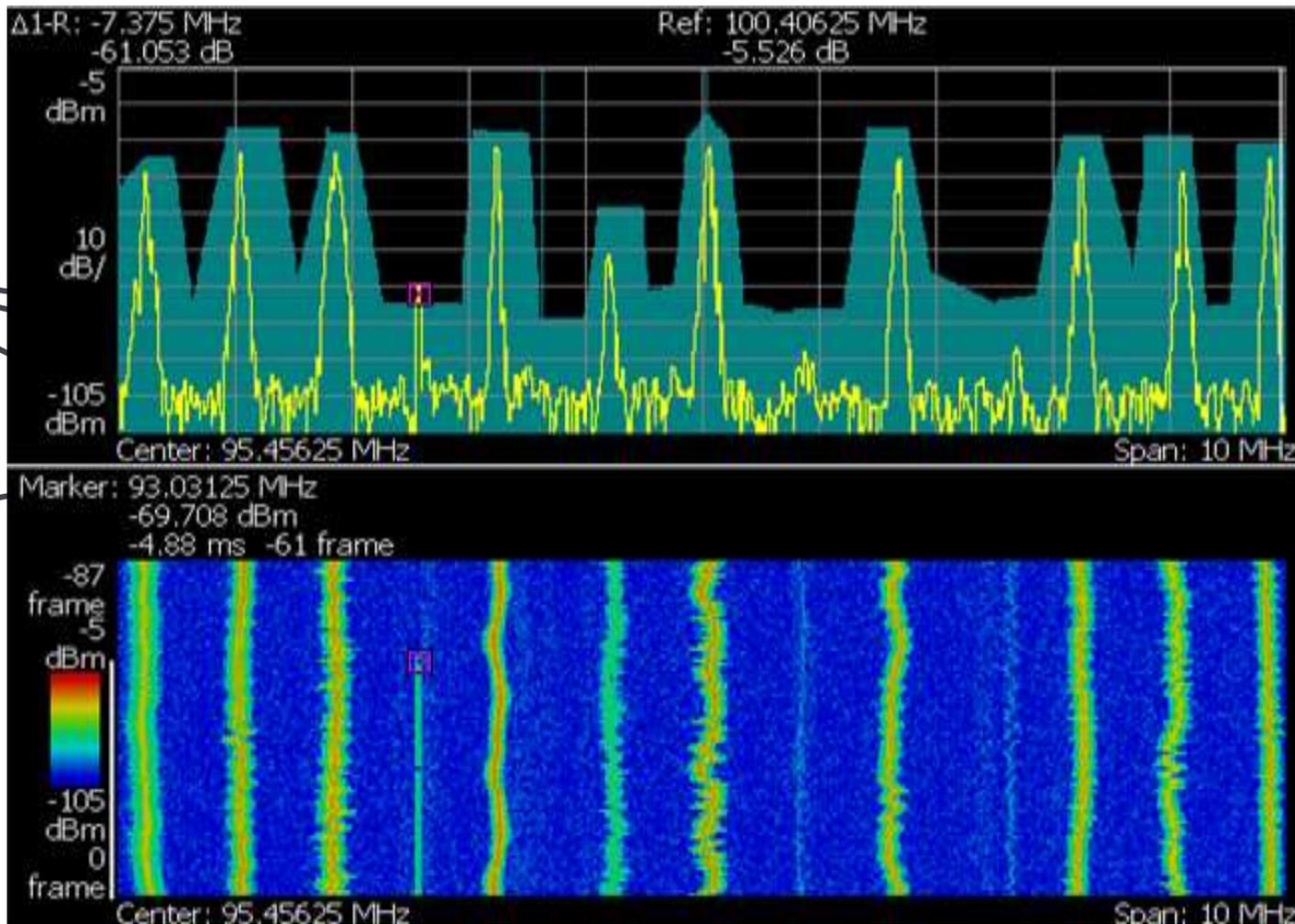
- 复杂电磁环境下的引信信号截获
- 干扰信号多为间断方式
- 多样的实时截获功能
 - 频率模板触发
 - 概率密度触发
- 实时存贮截获数据
- 一次捕获多次分析
- 多点组网同步采集



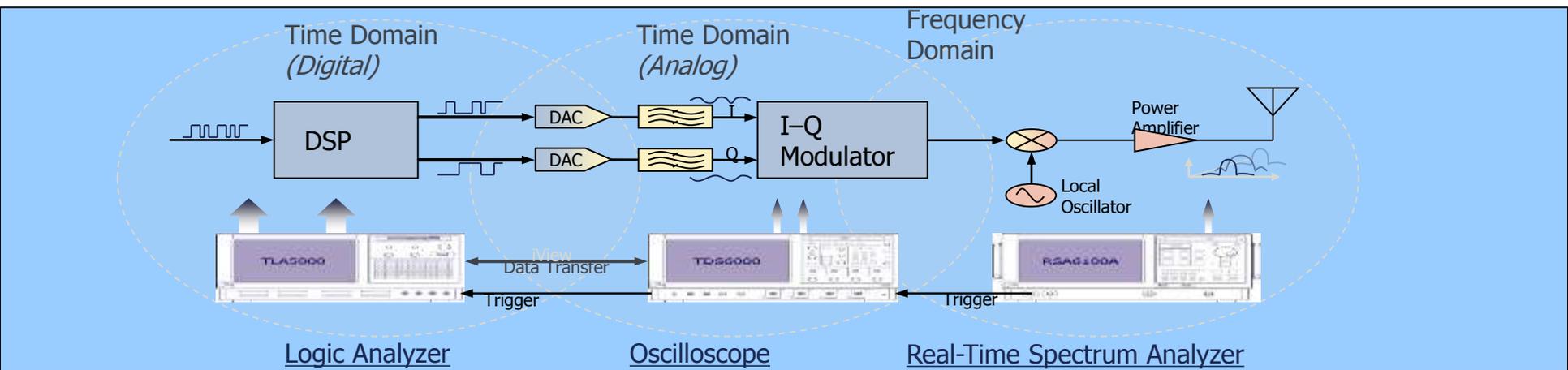
创新的频谱概率密度统计



实时捕获技术



复杂电磁环境下的宽带雷达信号的测试方案



超宽带雷达信号测试挑战

- 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**4GHz**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

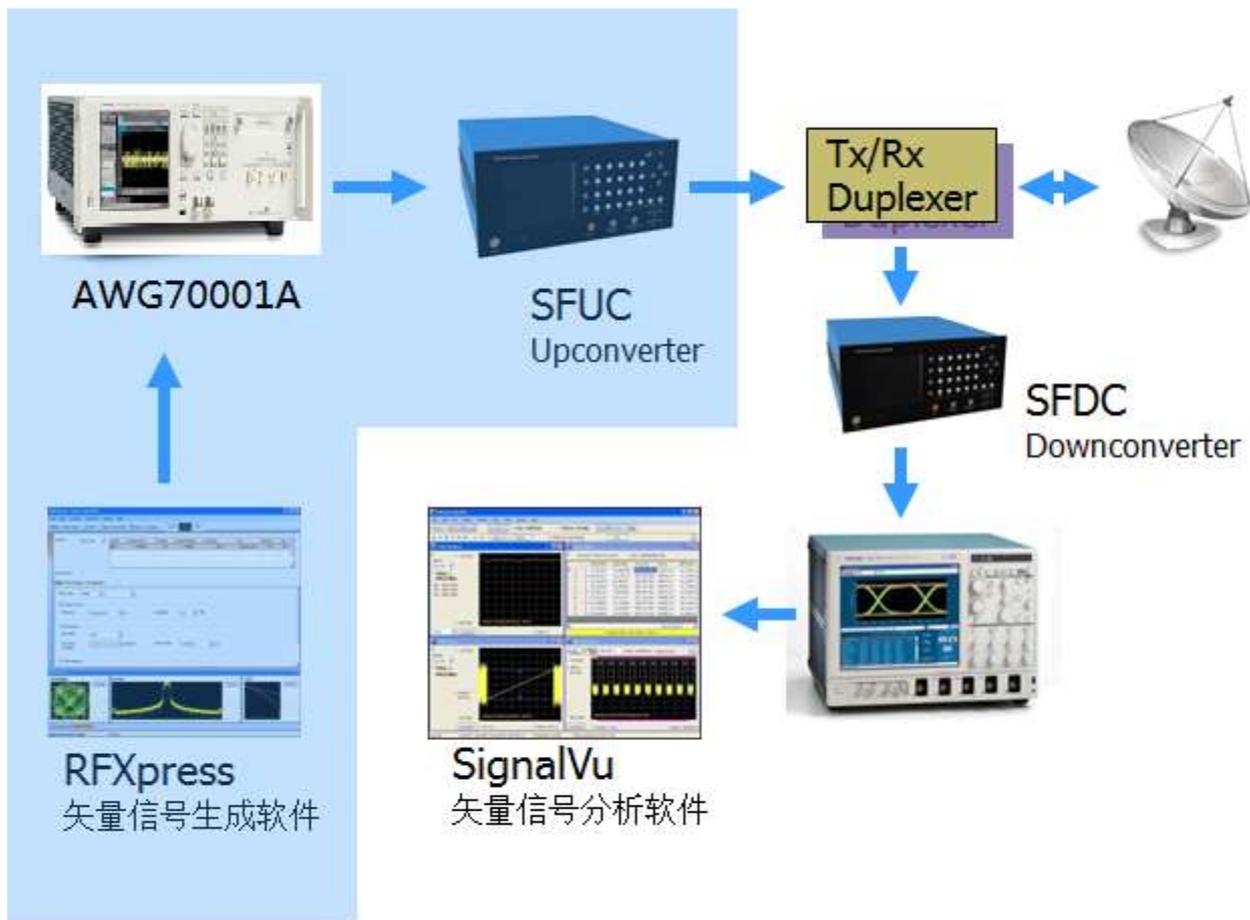
- **AWG**优势

- 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

- 示波器——最通用的宽带接收机

- 泰克示波器，可以提供最高达**70GHz**带宽，可直接采集分析射频信号
- 配合各种雷达信号分析软件，对调制参数进行测量

Tektronix 宽带雷达信号测试方案



- 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

业内唯一的高级雷达信号生成信号源+软件RFXpress

- 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。



高级雷达信号生成软件RFXpress

The screenshot displays the RFXpress software interface for configuring a radar signal. The main window is titled "RFXpress - Radar.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" tab is active, showing the "Pulse Train" configuration. A table lists the pulse parameters:

Index	Type	Repeat	PRI (ms)	Duration (ms)
1	Pulse	1	0.1000	0.10

Below the table, the "Pulse Envelope" tab is selected, showing various configuration fields:

- Pulse Shape: Rectangular
- Start Time (To): 0 p s
- Rise Time (Tr): 1.000 n s at 0-100% V
- Pulse Width (Ton): 10.000000 u s at 100% V
- Fall Time (Tf): 1.000 n s at 0-100% V
- Off Time (Toff): 90.000000 u s
- PRF: 10.000000 KHz
- Amplitude Relative to Carrier: 0.00 dB
- Offset from Carrier Frequency: 0 Hz
- Repeat: 1

A "Selected Pulse" graph on the right shows a rectangular pulse with a duration of $Tr + Ton + Tf = 10.00 \mu s$. The graph has a vertical axis from 0 to 1.00 and a horizontal axis.

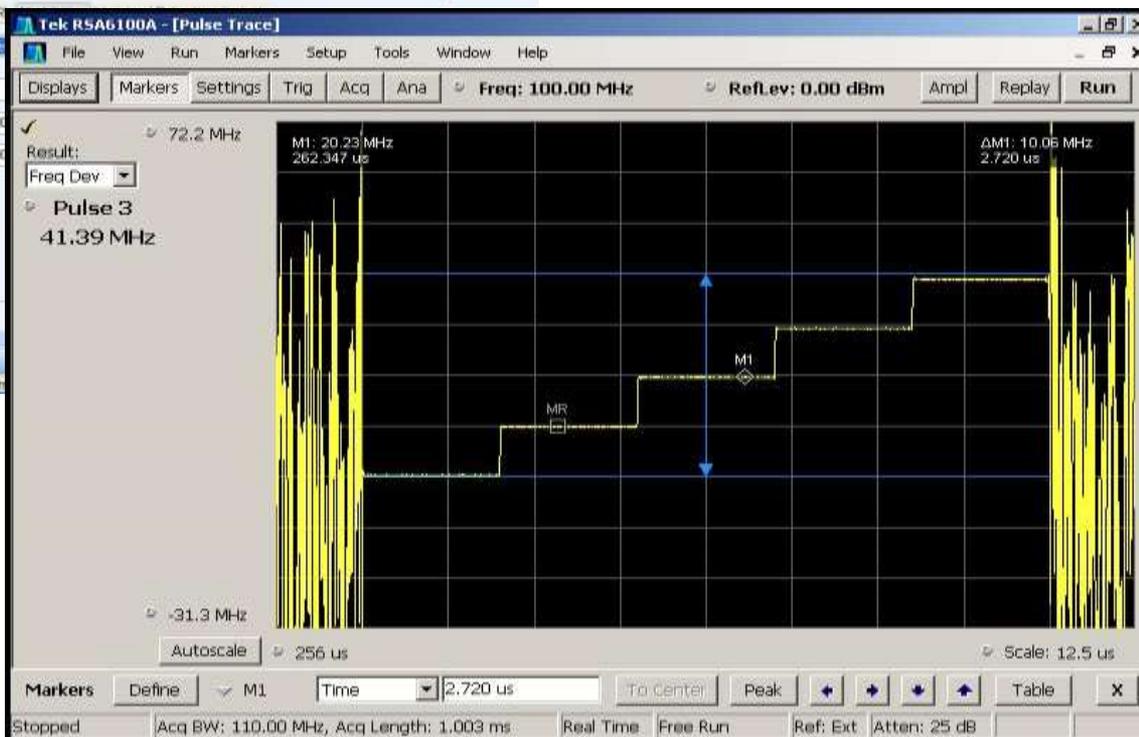
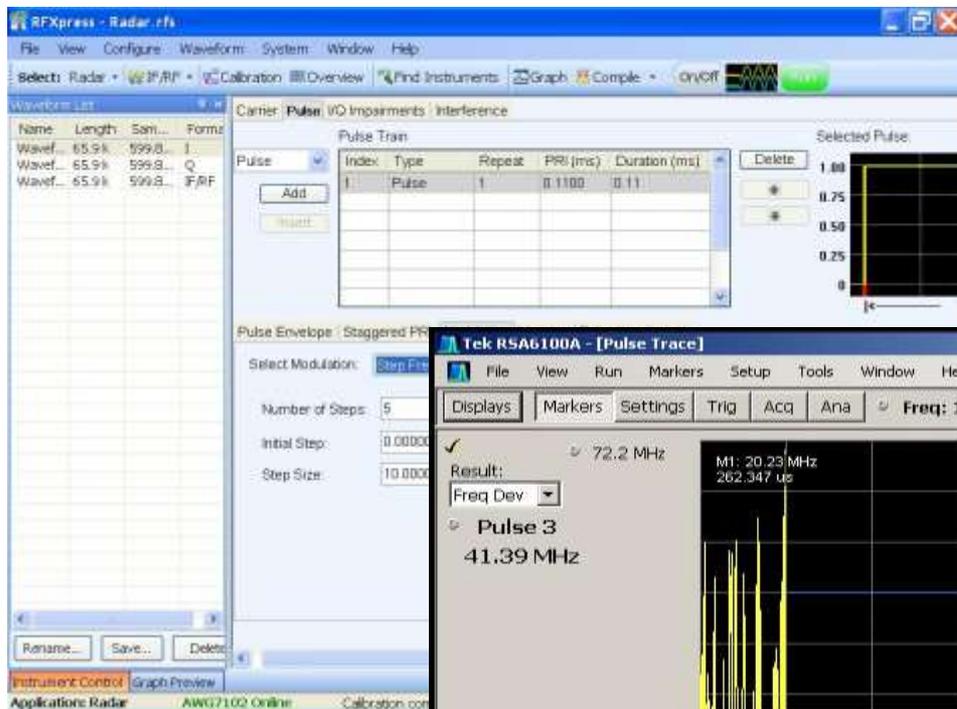
At the bottom of the interface, there are tabs for "Instrument Control" and "Graph Preview". The status bar shows "Application: Radar", "AWG70001A Online", "Calibration corrections: Off", and "Active RF Waveform: Waveform1".



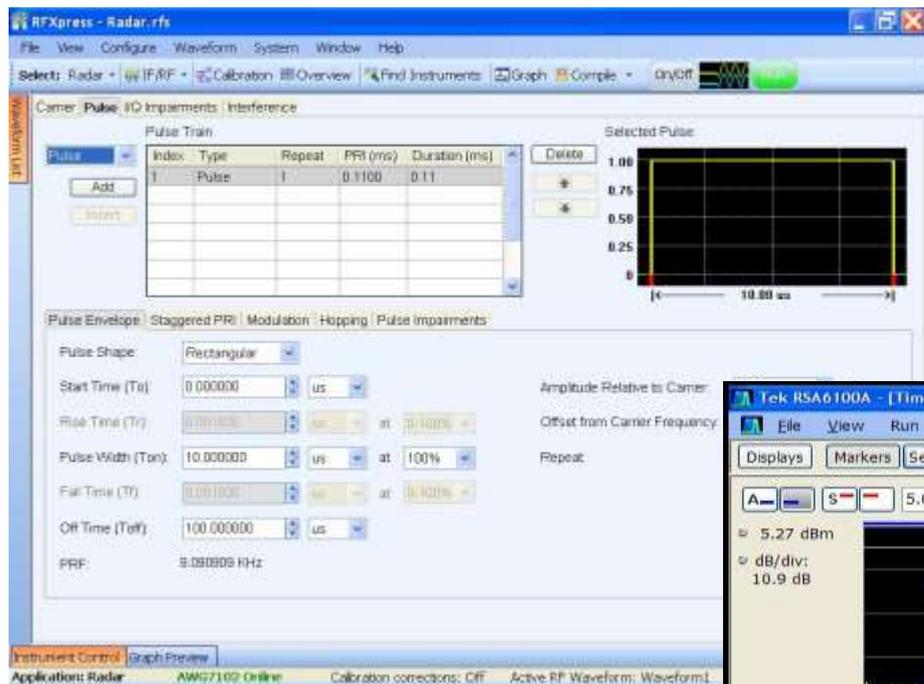
脉内的调制

- 支持各种各样的调制

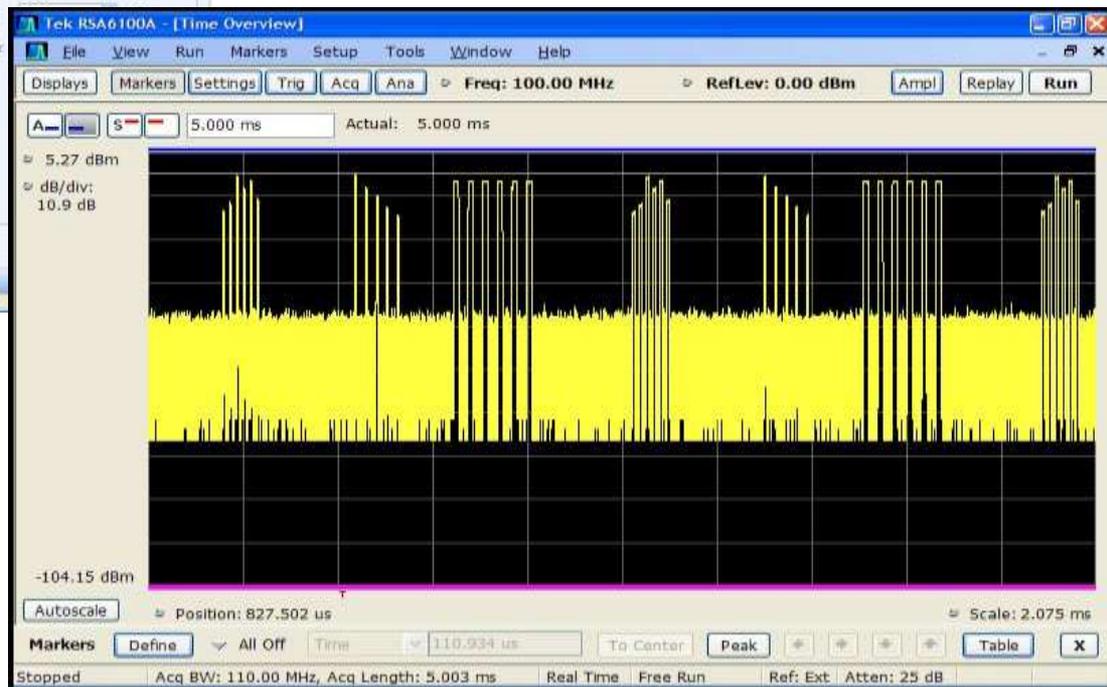
- LFM
- Barker and Poly phase Codes
- Step FM
- Non-Linear FM
- User Defined FM and Custom FM



使用泰克AWG产生特定脉冲序列



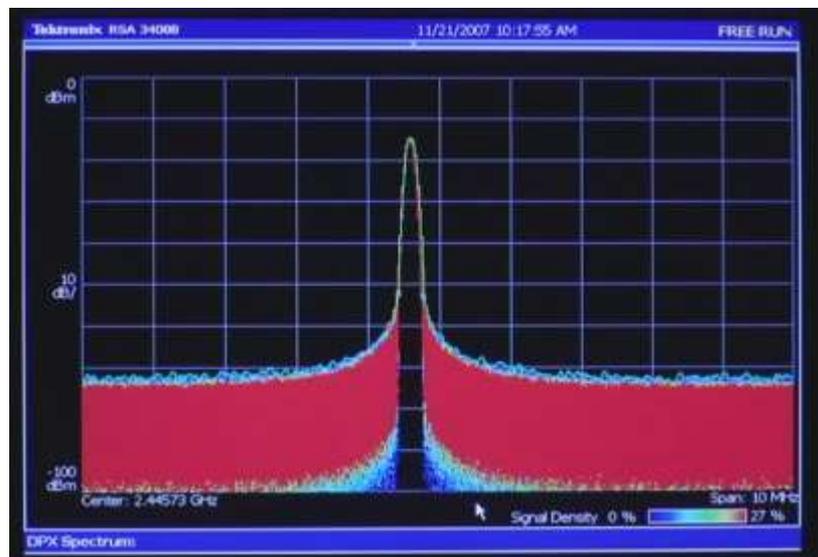
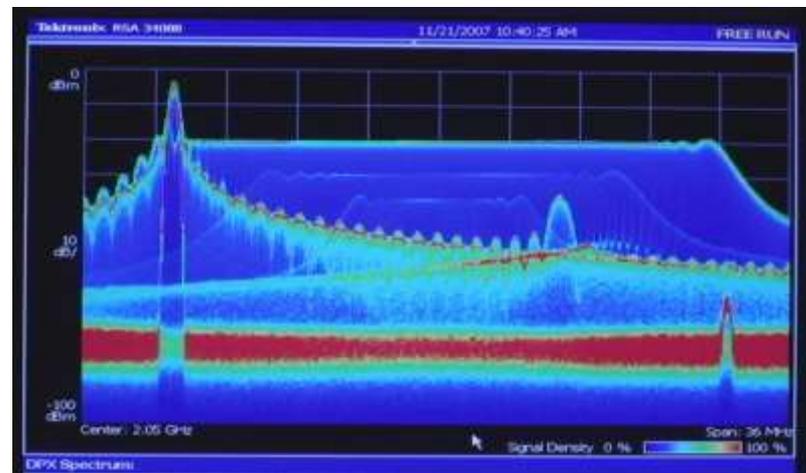
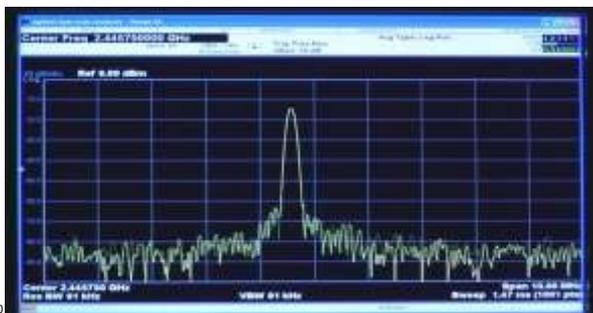
- 定义全部脉冲特性
- 增加脉冲编组，简化脉冲定义
- 定义脉冲相参性



- 可以定义脉冲组之间的相对功率
- 通过频率偏移模拟 Doppler 效应

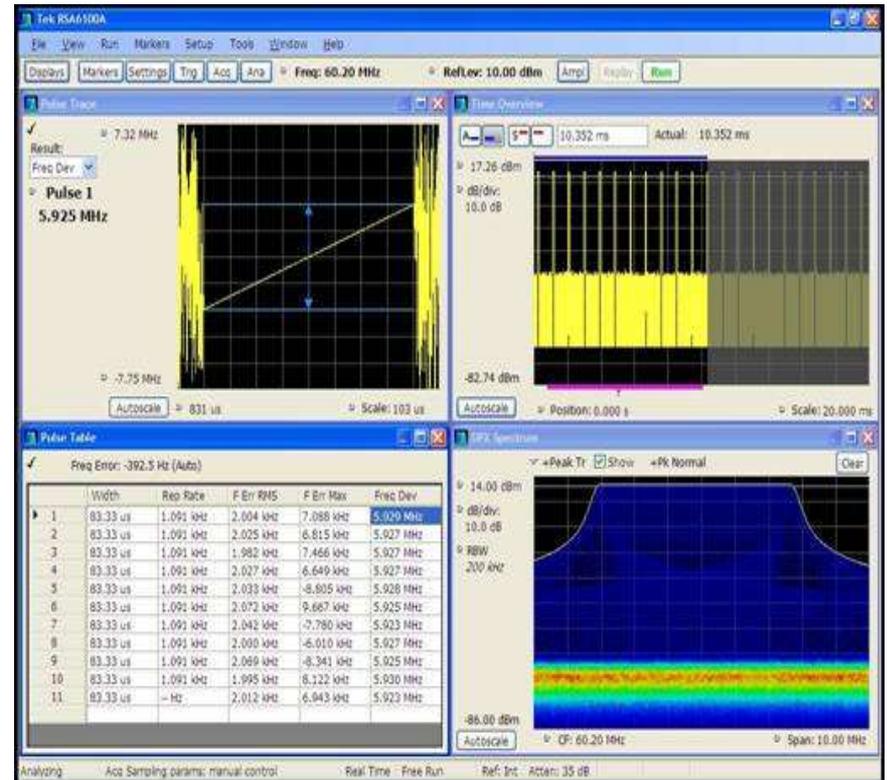
实时频谱显示技术(DPX)用于雷达信号频谱监测

- 实时信号分析仪
- 100% 发现驻留时间超过 5.8us 信号
- 发现复杂电磁环境下的同频信号



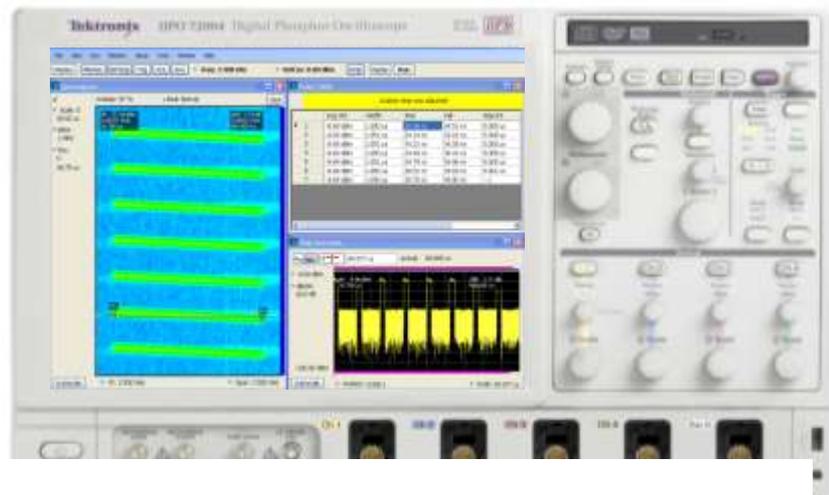
示波器作为宽带、超宽带信号采集和分析工具

- 165M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165M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70GHz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



泰克宽带雷达分析平台

- SignalVu
 - DPO/DSA70k+ATI and DP07k series
 - 70G的示波器带宽
 - 200G的采样率
 - 内存 1G



超宽带接收机

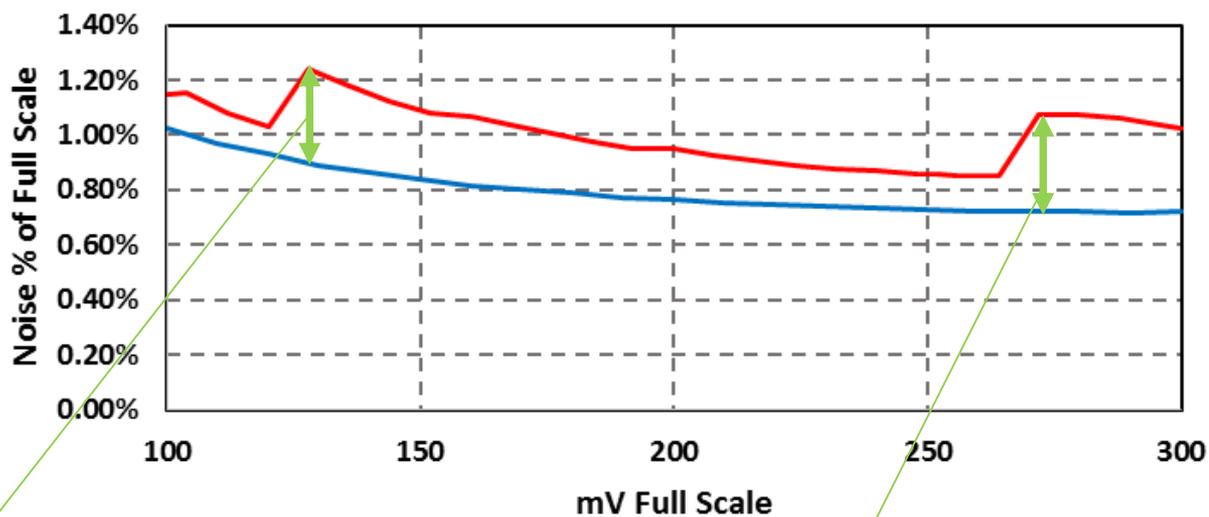
ATI 示波器

- 全新超高性能70GHz异步时序交织(ATI)结构
- 全新的紧凑型示波器设计
- 全新同步总线的UltraSync高性能多机



噪声对比

Tektronix DPO77002SX vs Keysight DSAZ634A
% of FS Noise vs mVFS Setting
Trace Centered
60GHz BW, 200/160GS/s



Tek noise is about 27% lower at 130mVFS

Tek noise is about 30% lower at 300mVFS

— Tek DPO77002SX — Keysight

主要指标

示波器旗舰，兼具中高端频谱分析仪的射频指标

- 70GHz带宽
- 200G采样率
- 低至-155dBm/Hz@20GHz，-150dBm/Hz@70G的DANL
- 相位噪声1GHz CF，-113dB/Hz @10K offset
- 最高同步4个ATI通道



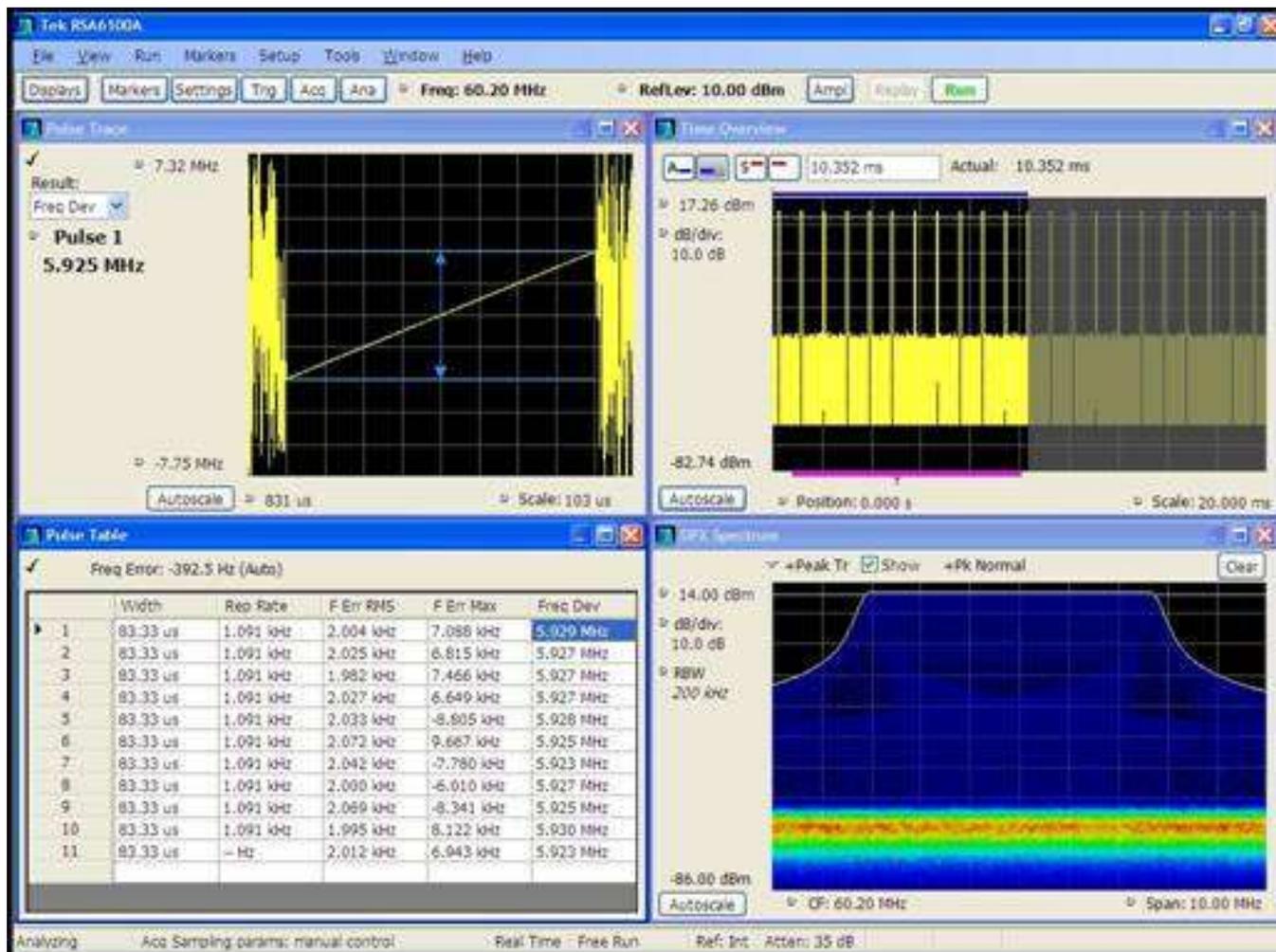
雷达自动分析套件—27项

- **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



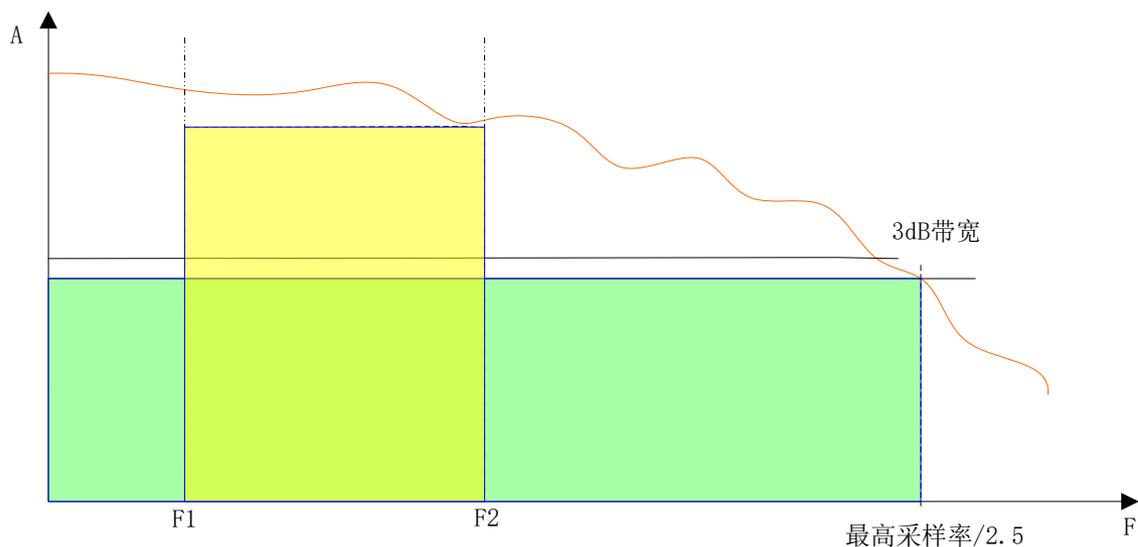
创新的雷达性能测量

- 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



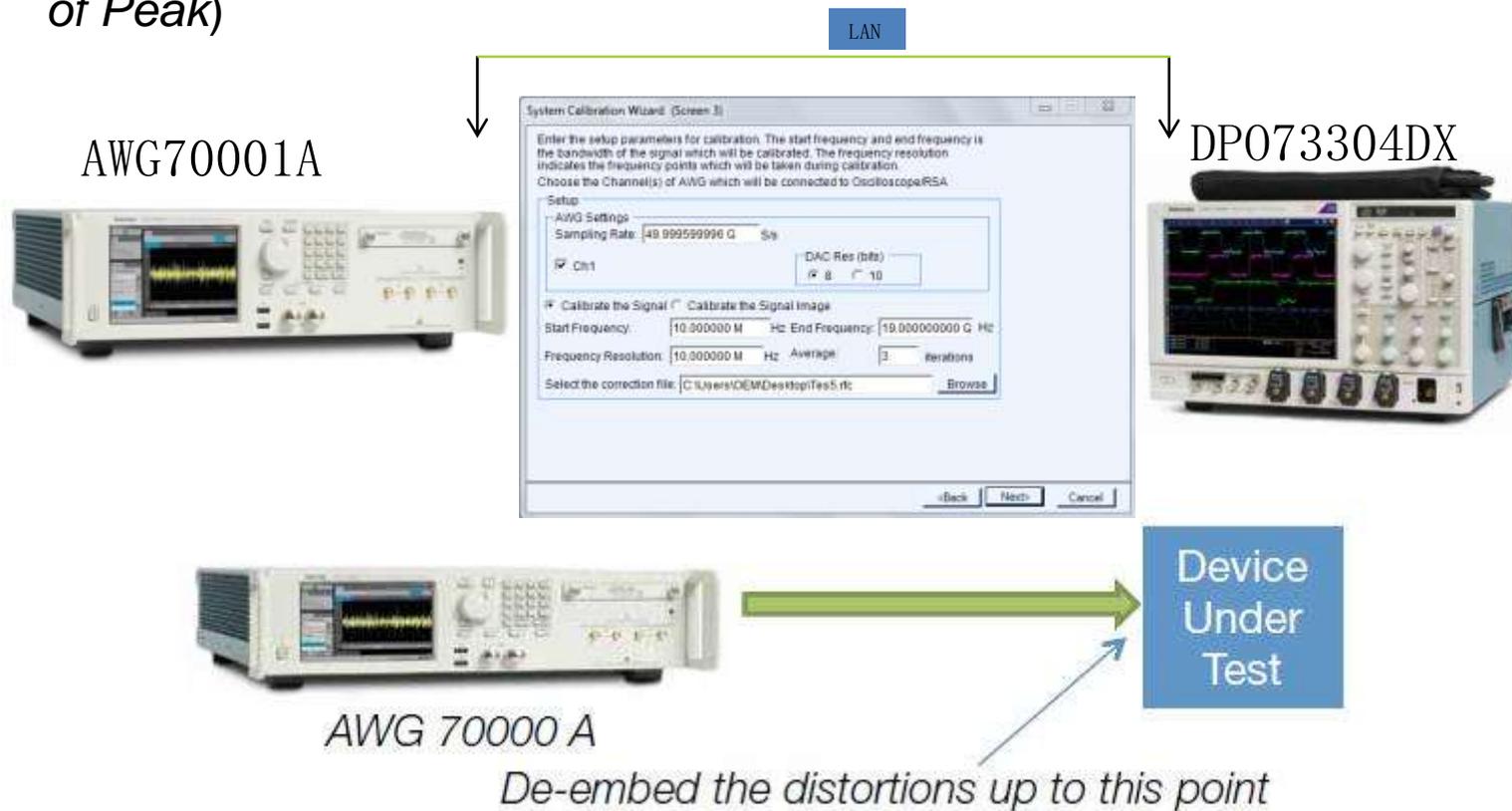
有关校准

- 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

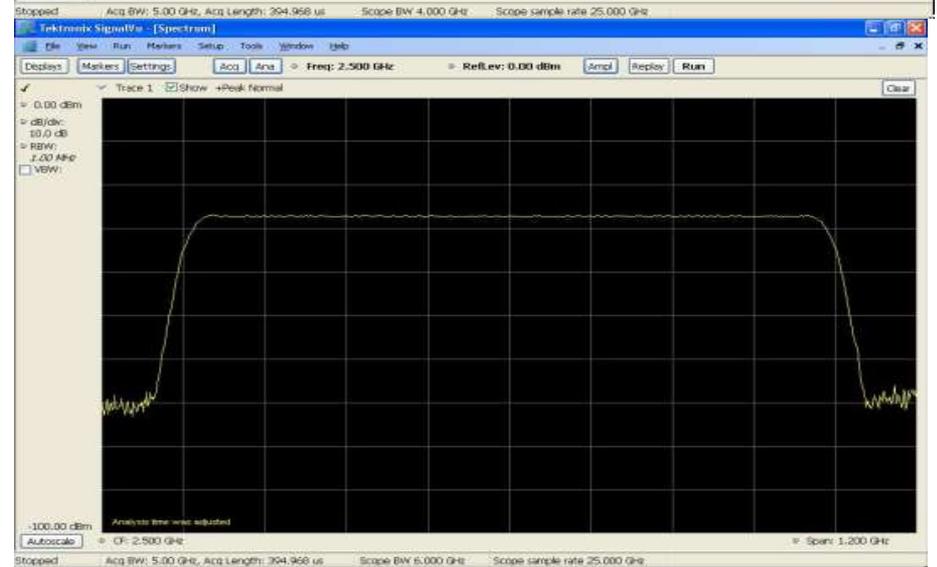
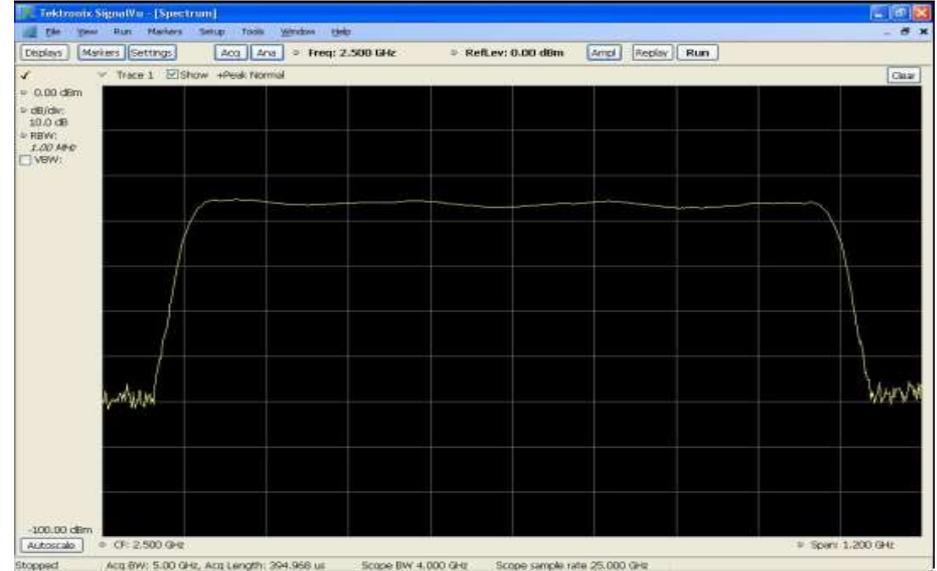
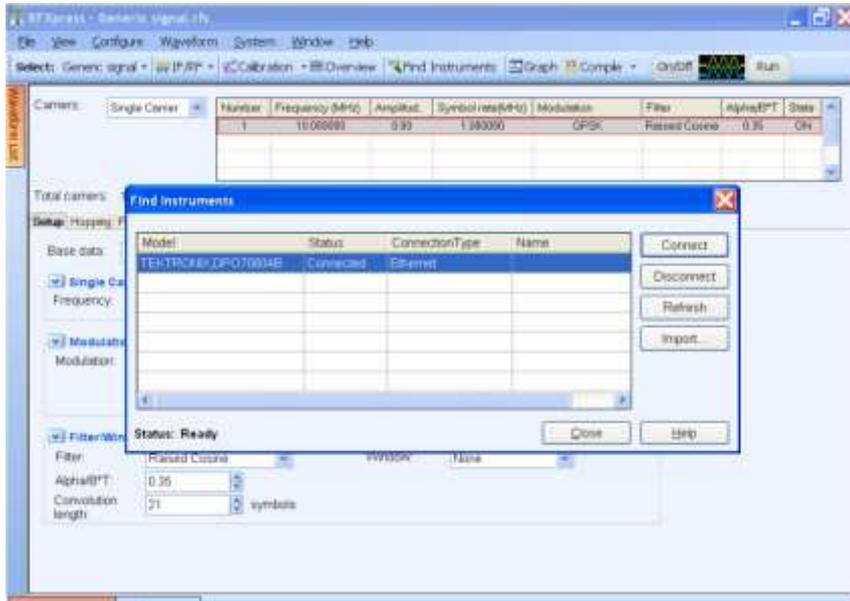


Pre-compensation Calibration in RFXpress for Improved Performance in Test System

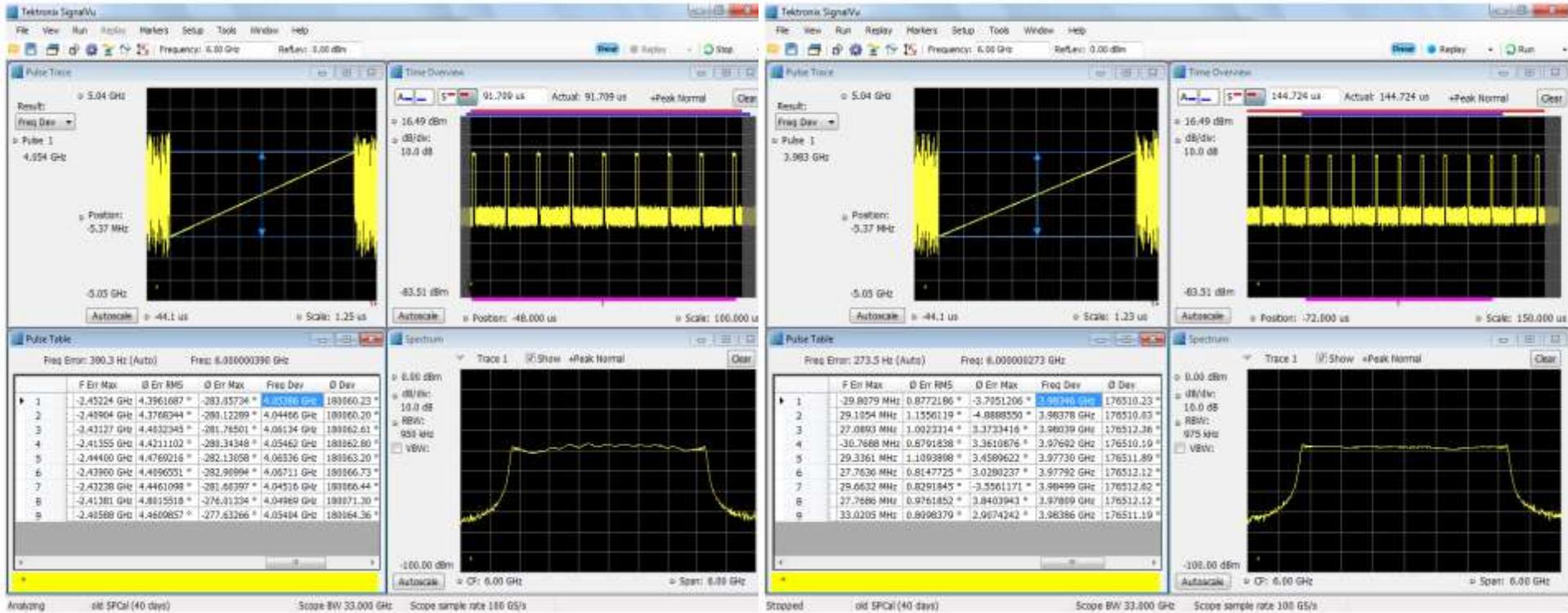
- Calibration is performed using RFXpress from Tektronix
- SignalVu Analysis SW running on DPO73304DX is used to measure the electrical EVM (*note – optical EVM will be lower because RMS is used instead of Peak*)



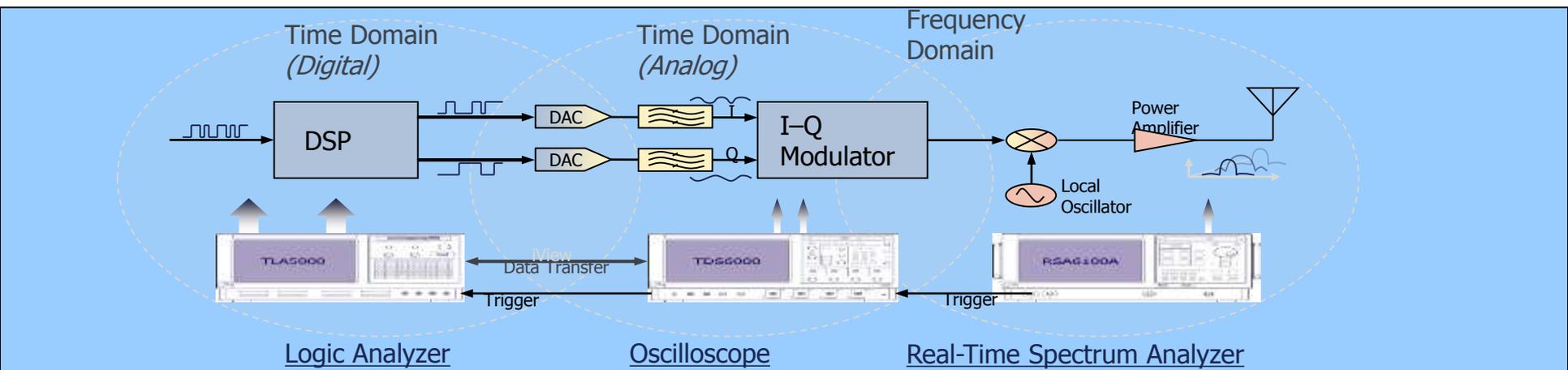
校准



CW: 6GHz, BW:4GHz雷达线性调频校准前后对比



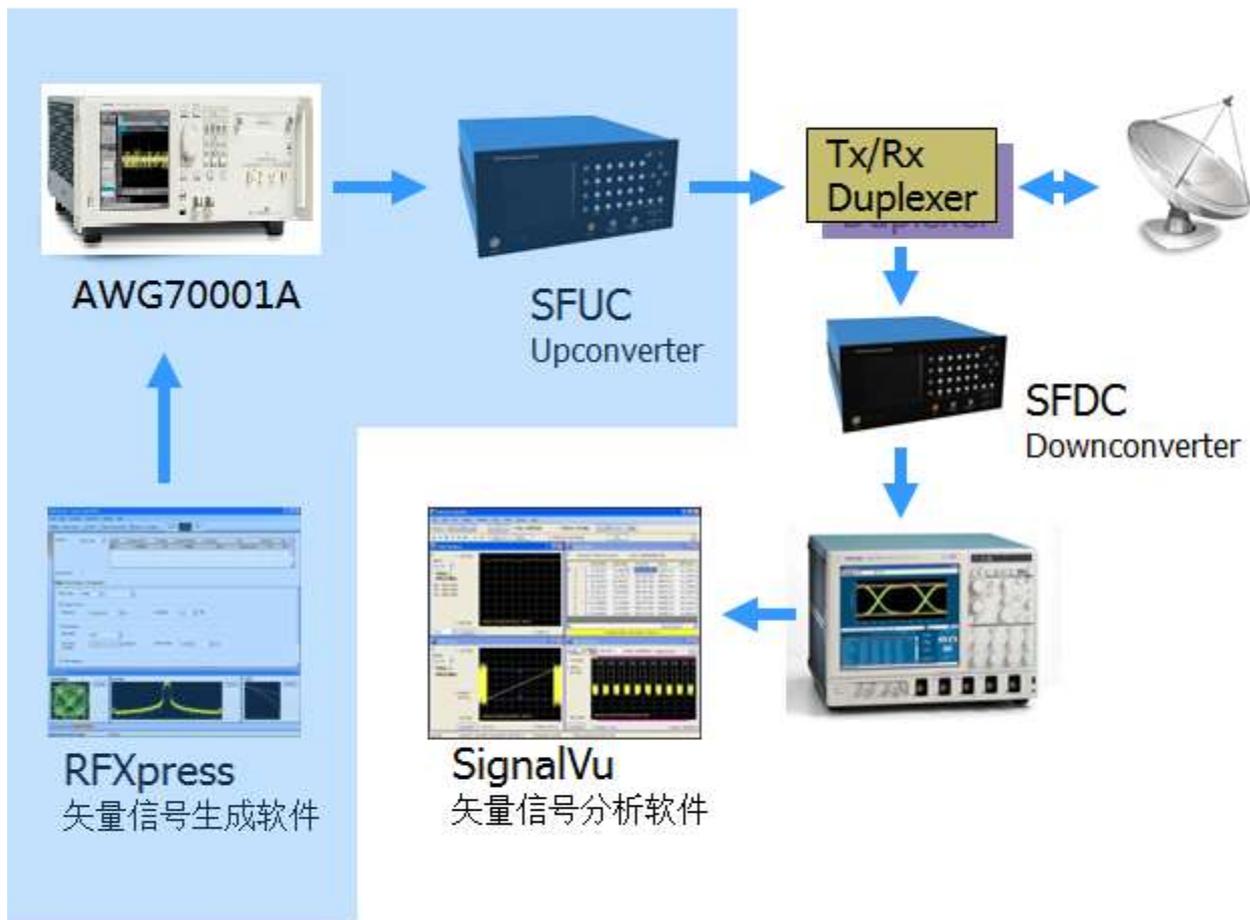
复杂电磁环境下的宽带通信信号的测试方案



宽带通信信号测试

- 主要应用
 - 卫星通信/THz
- 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20GHz)
 - 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。
- Scope+SignalVU
 - 宽带数字调制信号分析

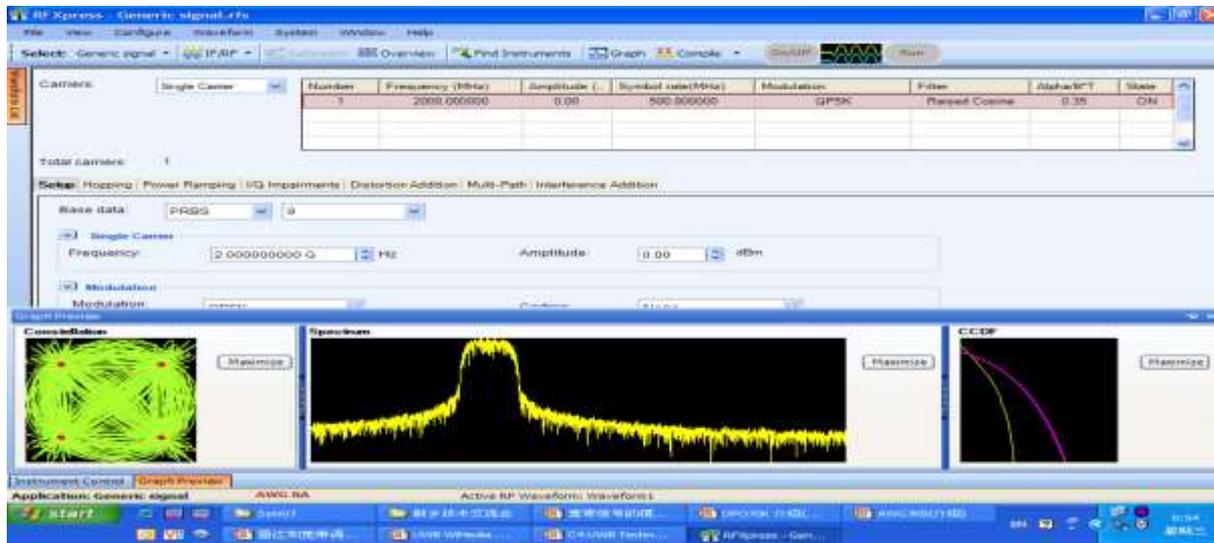
Tektronix 宽带通信系统测试方案



- 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

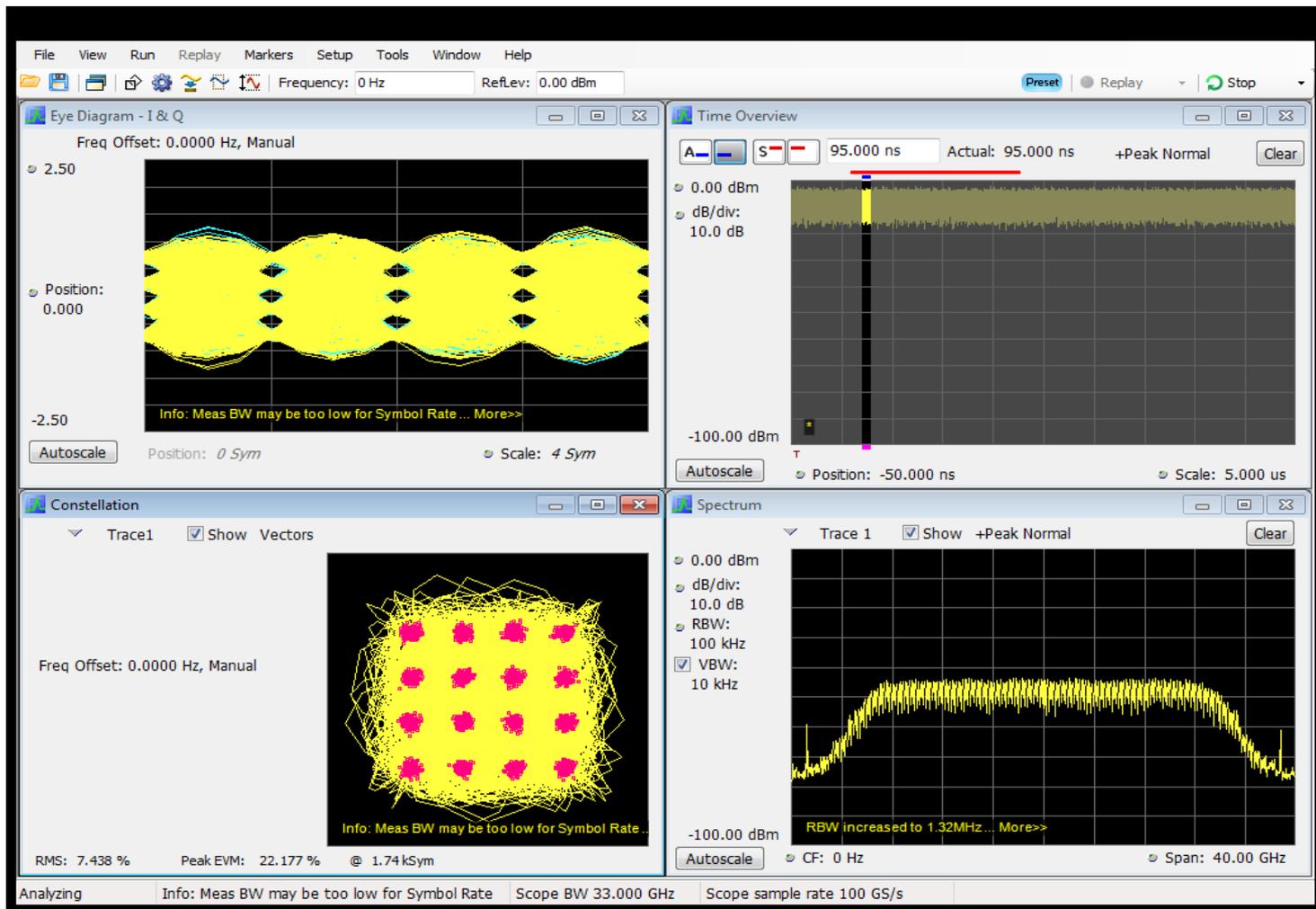
AWG70k 利用RFXpress软件宽带数字调制信号

- 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

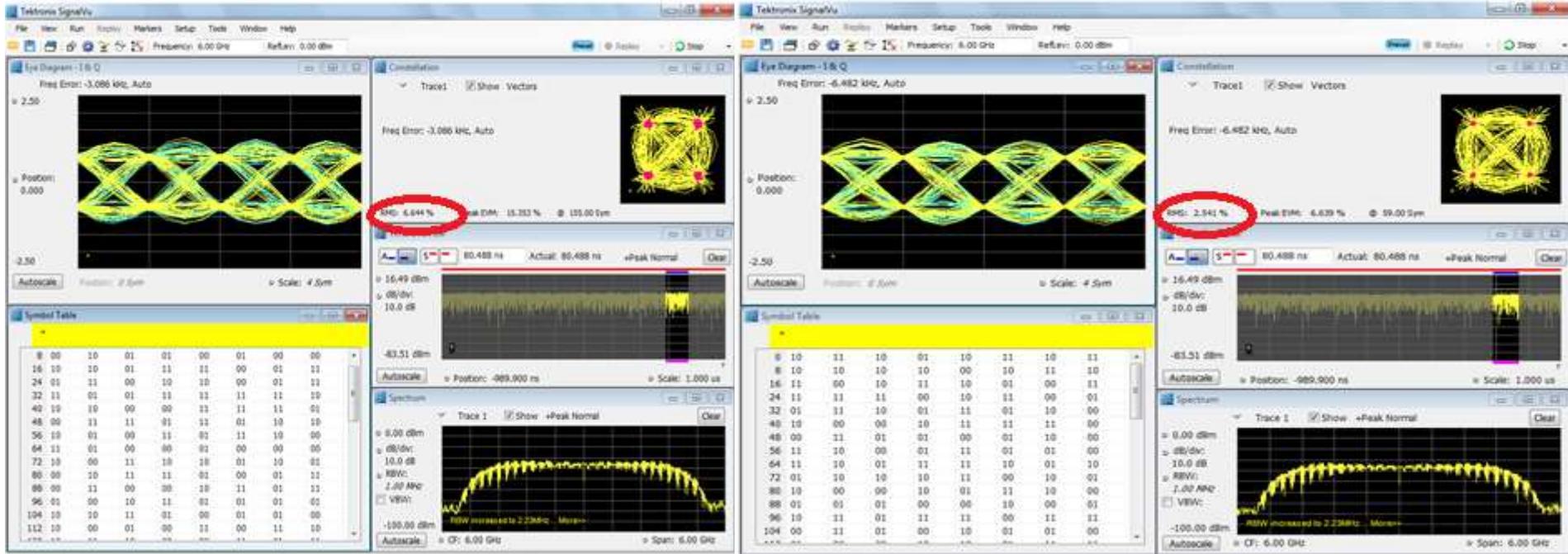


Scope+SignalVu对宽带调制信号的分析功能

- 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



QPSK 4GBaud 校准前后对比



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



跳频信号测试挑战

- 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。
- Scope+SignalVU
 - 测试快速宽带跳频信号

跳频通信信号的测试和模拟

- 基于AWG70000系列超宽带特性
 - 调频范围可达20GHz
 - 换频时间可缩短至几十皮秒
 - 跳速几乎没有限制
 - 超长模拟信号输出时间
 - 同时模拟信号中的多路跳频信号
- 基于示波器宽带采集的能力，配合独一无二的跳频信号在线分析能力
 - SignalVu独有的分析能力，采集带宽内，无需中心频率和载波对齐
 - 一次捕获，多次分析
 - 用户可控制捕获和分析范围
 - 多域联合分析
 - 结合AWG和RFXpress软件，复现复杂信道

AWG70k 利用RFXpress软件宽带快速跳频信号

Hopping

Turn On

Index No: 0

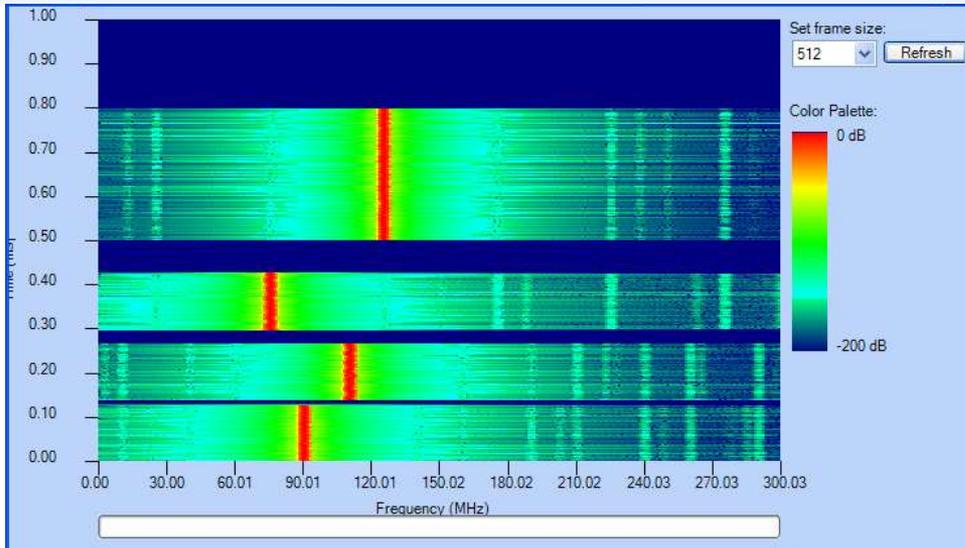
Start Symbol: 0

End Symbol: 0

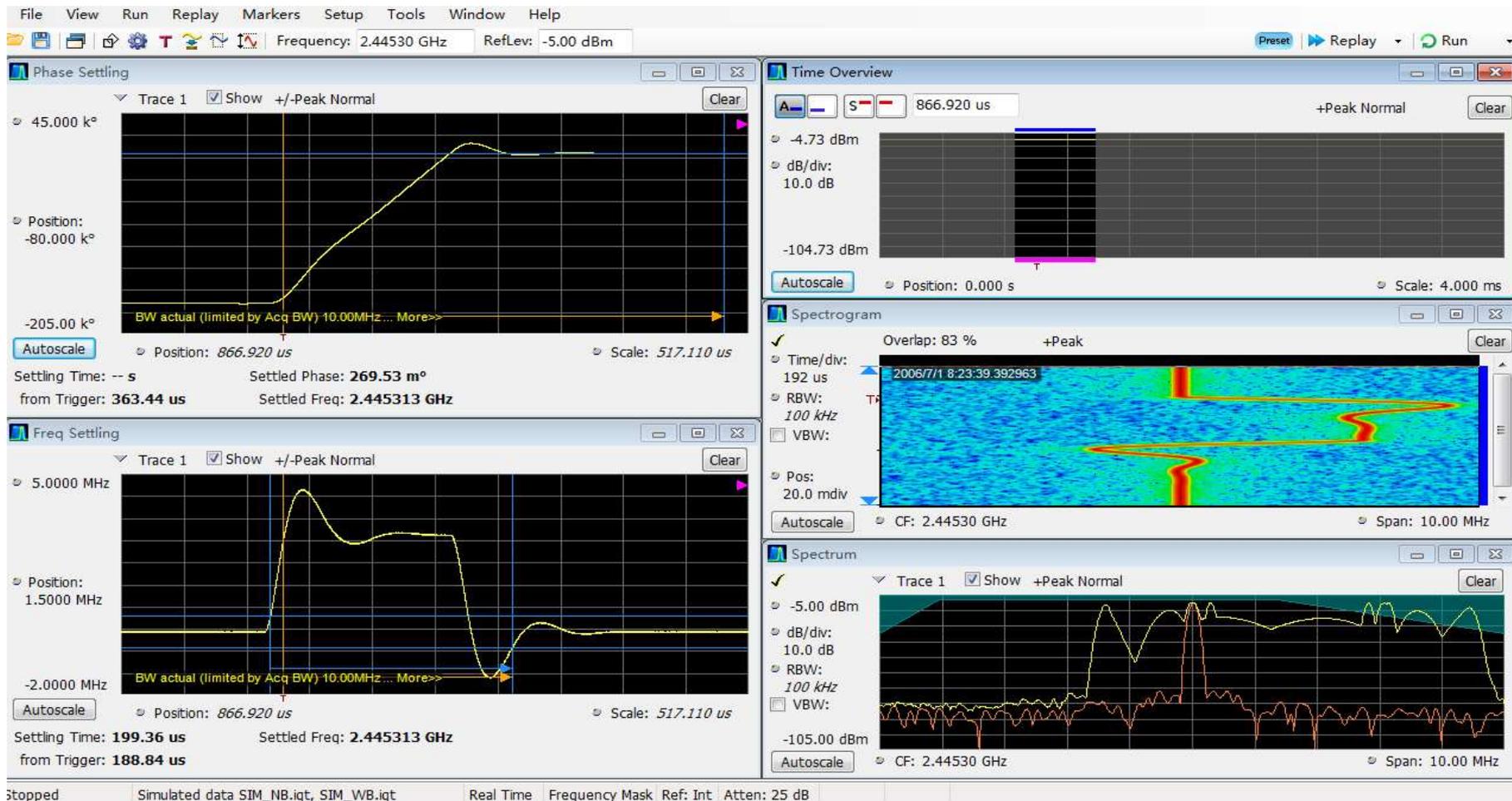
Relative Amplitude: 0.00 dB

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

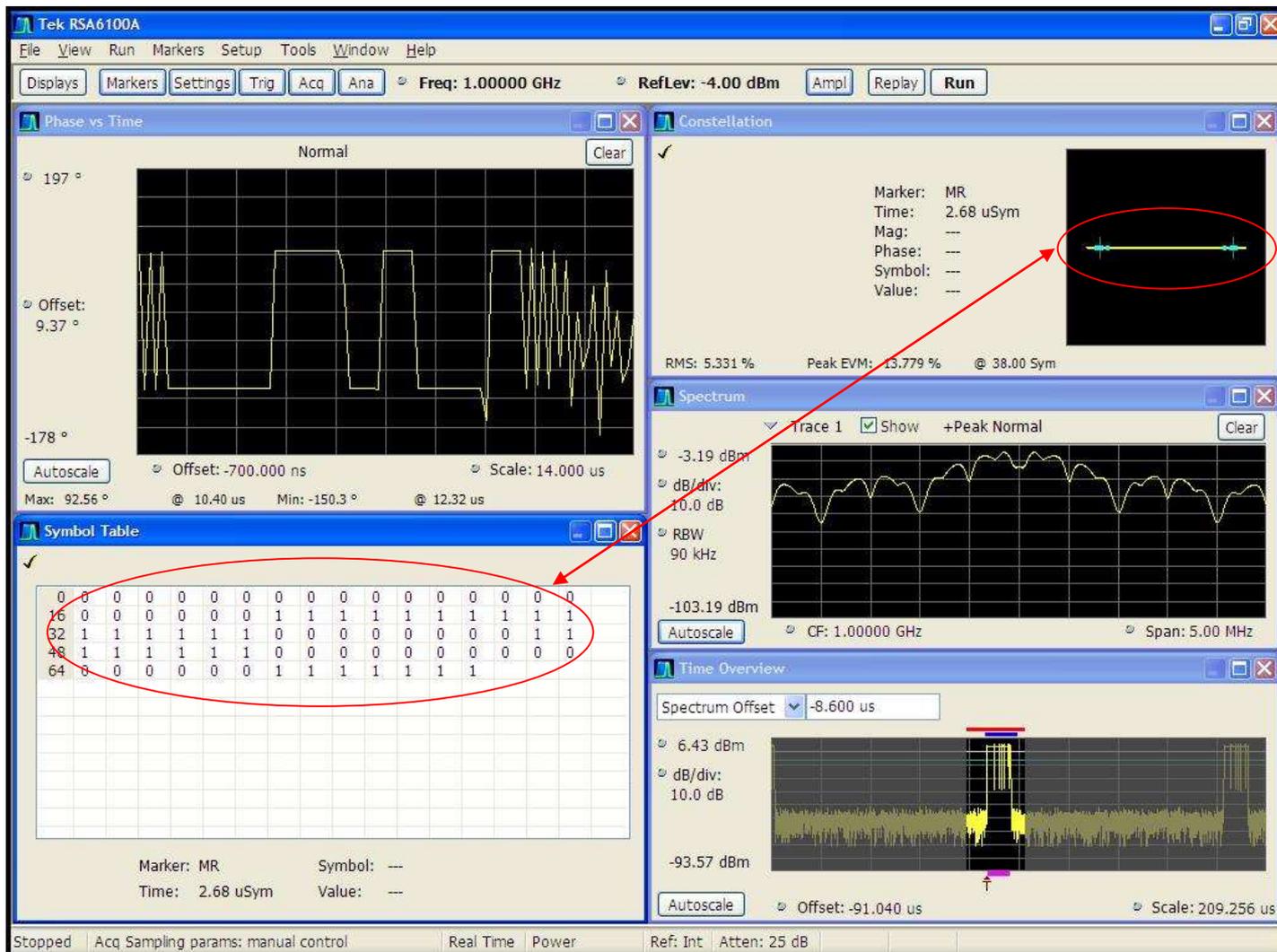


时间关联多域分析 – 跳频信号换频时间的测量

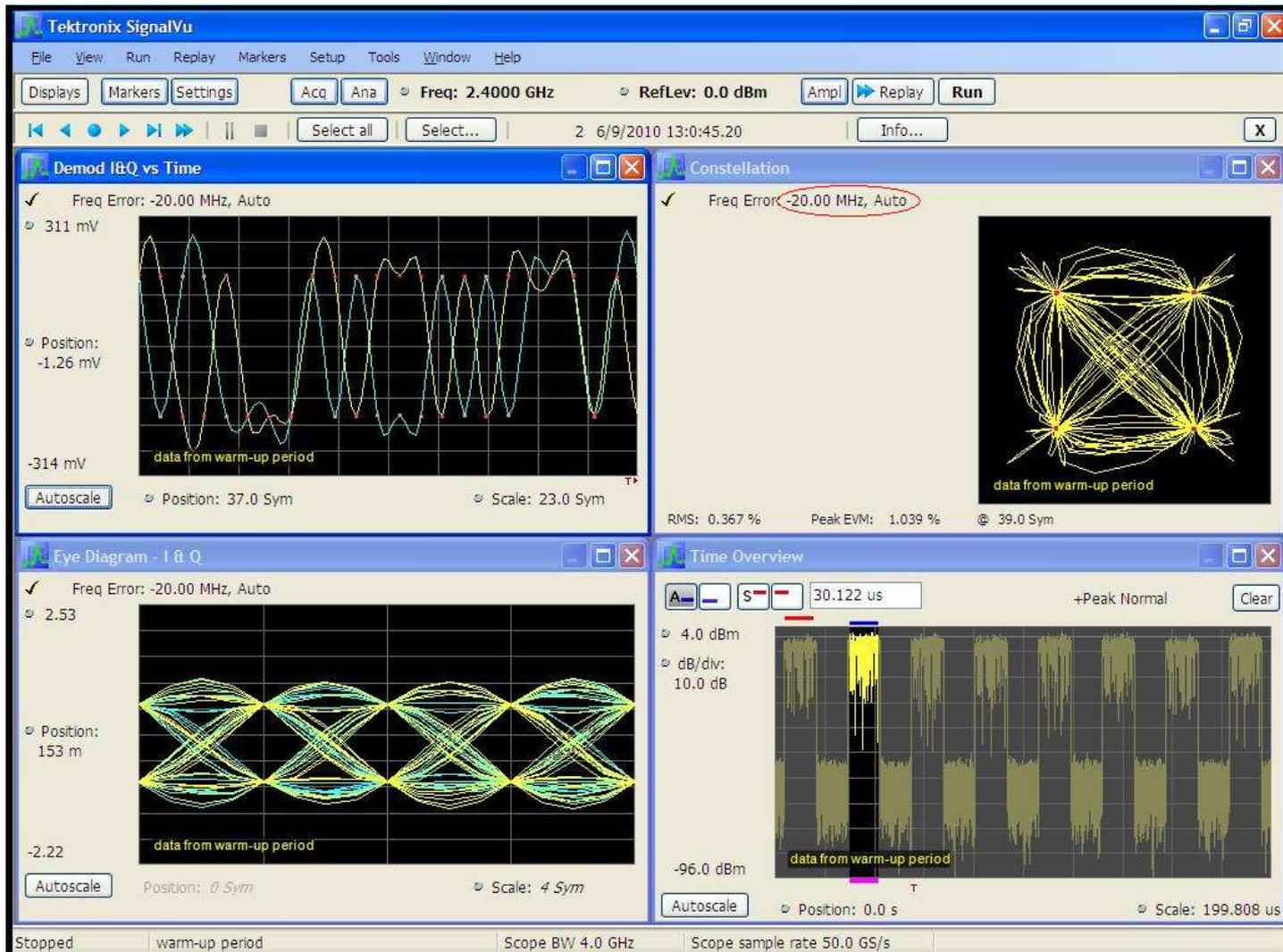


Scope+SignalVu对跳频信号的解调分析

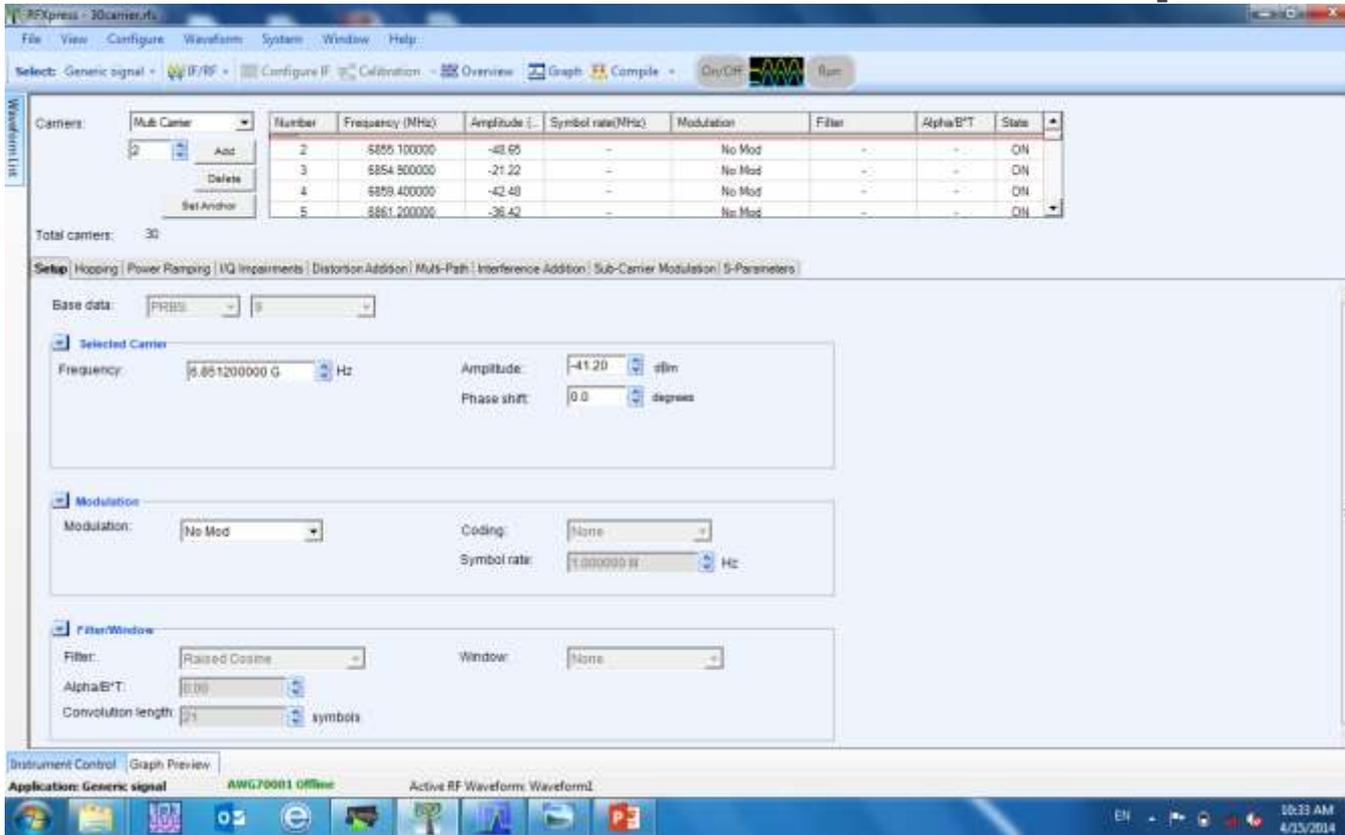
- 同时进行模拟数字解调
- “指哪打哪”
- 分析窗和频谱窗个子独立
- 可变分析窗，矢量分析和频谱分析各不耽误



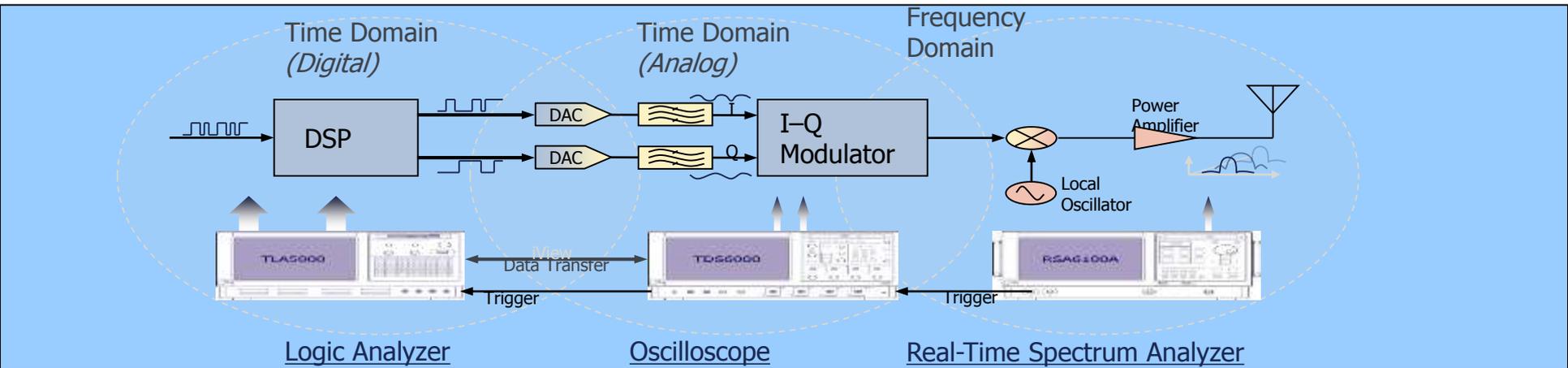
一个跳频信号分析的实例



泰克多载波信号产生AWG70K+RFXpress



复杂电磁环境信号仿真



泰克复杂电磁环境的仿真



RFXpress - Environment.rfs

File View Configure Waveform System Window Help

Select: Environment - IF/RF - Calibration - Overview - Find Instruments - Graph - Compile - On/Off

Waveform List

- Generic Signal
- UWB
- Radar(1)
- OFDM
- WiFi
- WIMAX
- GSM(1)
- CDMA(1)
- W-CDMA
- DVB-T
- User Defined
- Noise

Carrier Magnitude Peak: 0.000 dBm

Radars

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

GSM Configure

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

Magnitude (dB)

Frequency (Hz)

Duration (s)

Instrument Control | Graph Preview

Application: Environment | AWG NA | Active RF Waveform: Waveform1



泰克复杂电磁环境的仿真RRXpress ENV软件

The screenshot displays the Tektronix RRXpress ENV software interface. The main window shows a list of signal types on the left: Generic Signal(1), UWB, Radar(1), OFDM(1), WiFi, WiMAX, GSM, CDMA, W-CDMA, DVB-T, User Defined, and Noise(1). The main area contains several signal configuration panels, including Radar 1, Noise 1, OFDM 1, and Generic Signal 1. A 'Radar 1 Configure' dialog box is open, showing the 'Pulse' tab. The dialog includes a 'Pulse Train' table with the following data:

Pulse	Index	Type	Repeat	PRI (ms)	Duration (ms)
1	1	Pulse	1	0.0110	0.01
2	2	Pulse	1	0.0110	0.01
3	3	Pulse	1	0.0110	0.01
4	4	Pulse	1	0.0110	0.01
5	5	Pulse	1	0.0110	0.01

The dialog also shows 'Select Modulation: Linear Frequency Modulation', 'Sweep Range: 10.000000 M Hz', and 'Frequency Sweep: Low to High'. A graph in the background shows Magnitude (dB) vs Frequency (Hz) with a peak at 1G Hz. The bottom of the interface shows 'Instrument Control' and 'Graph Preview' tabs.

AWG70000A任意波形发生器

- 50 GS/s采样率
- 16 G样点的波形存储器



没有任何其它AWG系列能与AWG70000A系列的性能全面竞争

AWG70000A主要指标:

- 采样率: 高达50 GS/s
- 波形存储器: 高达16 G样点
- 动态范围: >80 dBc

产品技术数据



AWG70001A

通道数量	1
采样率	1.5 KS/s - 50 GS/s
最大输出频率	20.0 GHz
动态范围 (SFDR)	> 80 dBc
DAC分辨率	10位
波形存储器 (每条通道)	2 G样点 (标配) 16 G样点 (选配)

AWG70002A

通道数量	2
采样率	1.5 KS/s - 25 GS/s
最大输出频率	10.0 GHz
动态范围(SFDR)	>80 dBc
DAC分辨率	10位
波形存储器 (每条通道)	2 G样点(标配) 8 G样点(选配)

AWG5200 Series Highlights & TARGET Specs



Next generation AWG –
on roadmap for late 2016/early 17

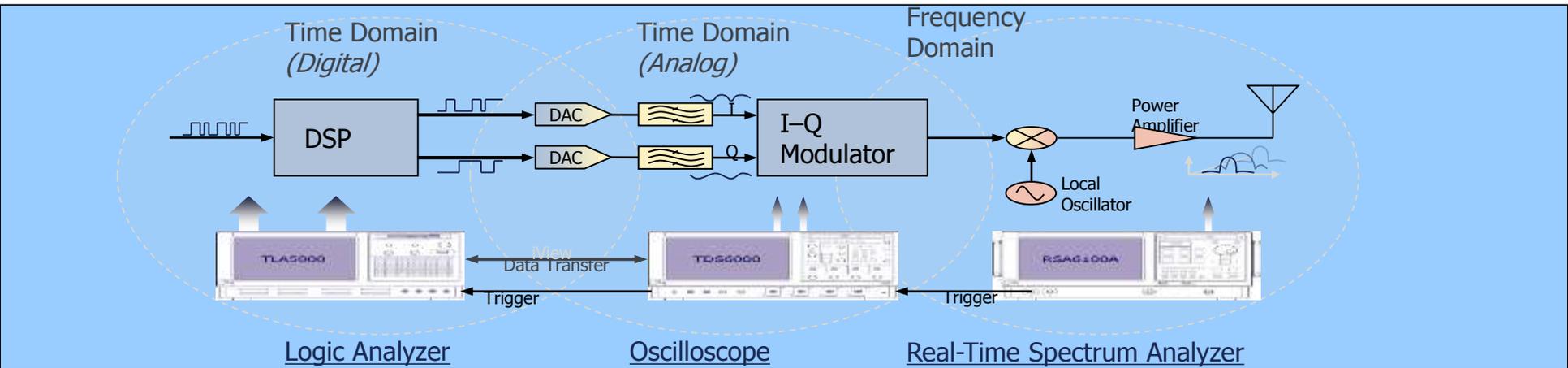
- 1.5 kS/s – 10.2* GS/s sample rate/channel
- 16 bits
- 2 Gsamples of waveform memory/channel
- 2, 4, or 8 channels
- The fastest 16 bit AWG on the market with the most channels and highest dynamic range

Model	Chan	Sample Rate / (Frequency)	Resolution	SFDR (DC-3GHz)	Analog BW (at -3 dB x)	Output
AWG5202	2	1.5 KS/s – 10.2* GS/s (4 GHz)	16 bit	<-60 dbc (DC direct)	3 GHz	Direct DC Out: 1.2Vp-p Diff (standard), 3Vp-p (option)
AWG5204	4	1.5 KS/s – 10.2 GS/s (4 GHz)	16 bit		3 GHz	Amp DC Out: 8vp-p Diff with +/- 2.25V of offset, BW 250 MHz (option)
AWG5208	8	1.5 KS/s – 10.2 GS/s (4 GHz)	16 bit	<-75 dbc (AC direct)	3 GHz	Direct AC Out: -17 to -5 dBm single-ended, BW 10MHz to 4GHz (standard) Amp AC Out: -60 to +10 dBm single-ended, BW 10MHz to 4GHz (option)

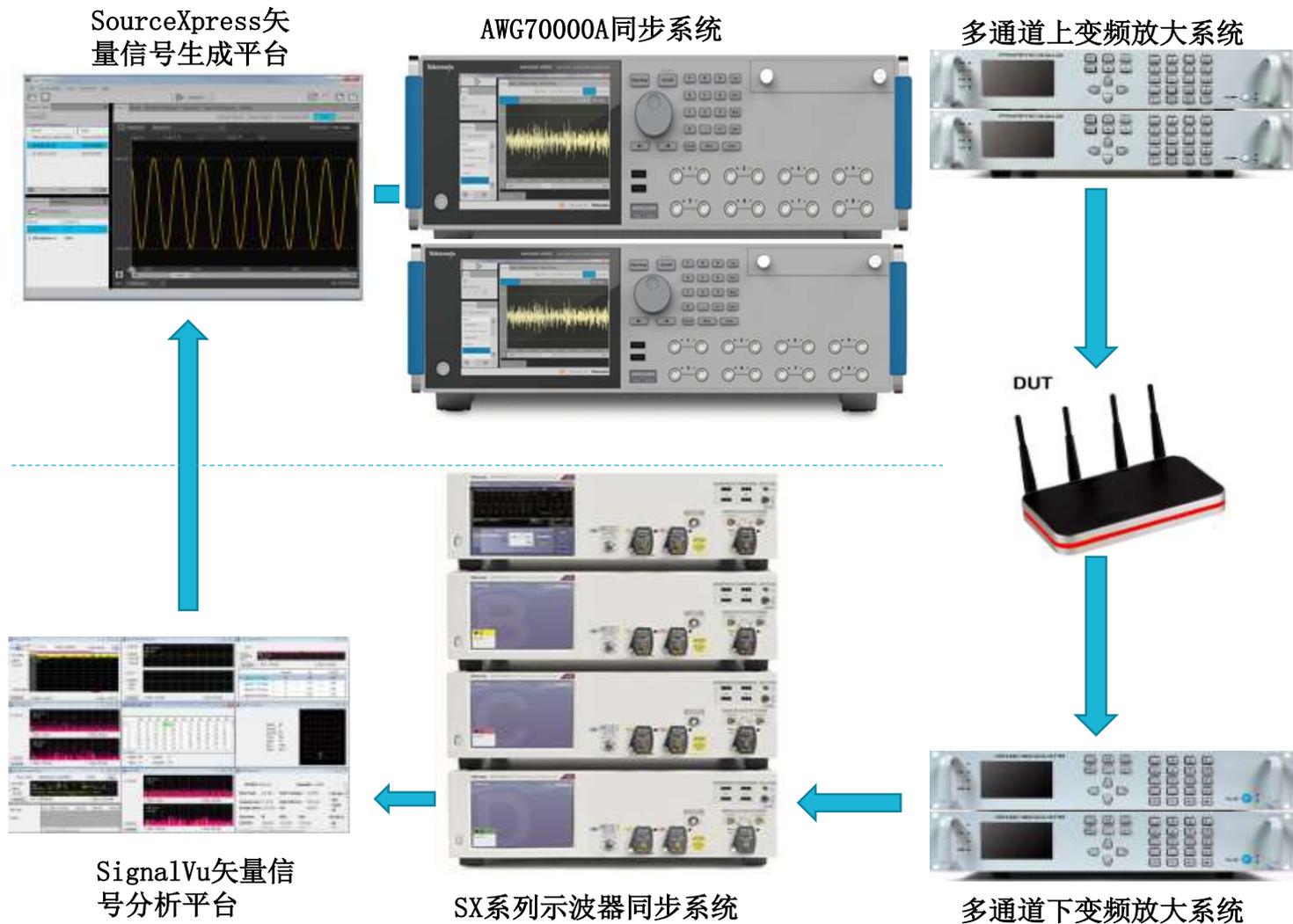
Note *: 10.2 GS/s is interpolated from 5.1 GS/s DAC



多通道超宽带信号解决方案



多通道超宽带信号解决方案



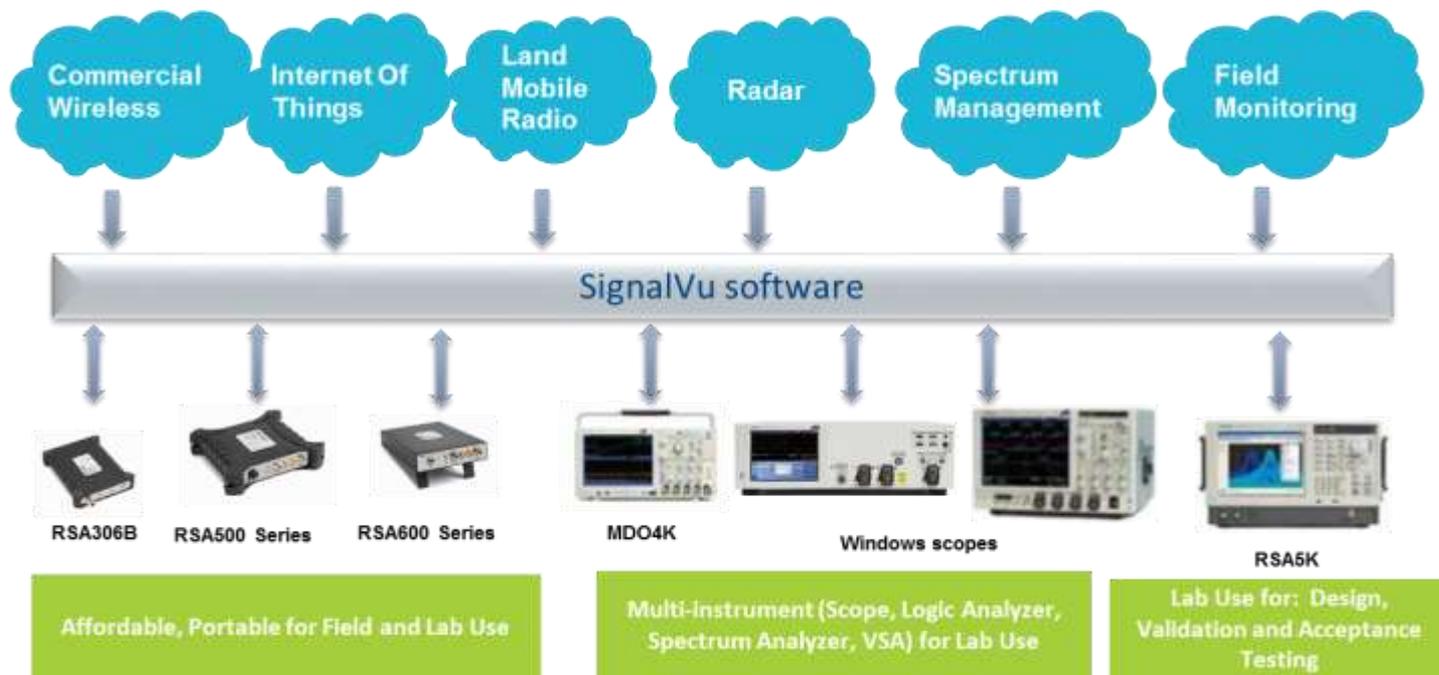
一种测试方案，多种应用

- 复杂电磁环境
- 雷达
- 战术通信
- 下一代无线通信
- 脉冲模拟和测试
 - 光脉冲
 - 电脉冲



一个软件平台整合所有仪器

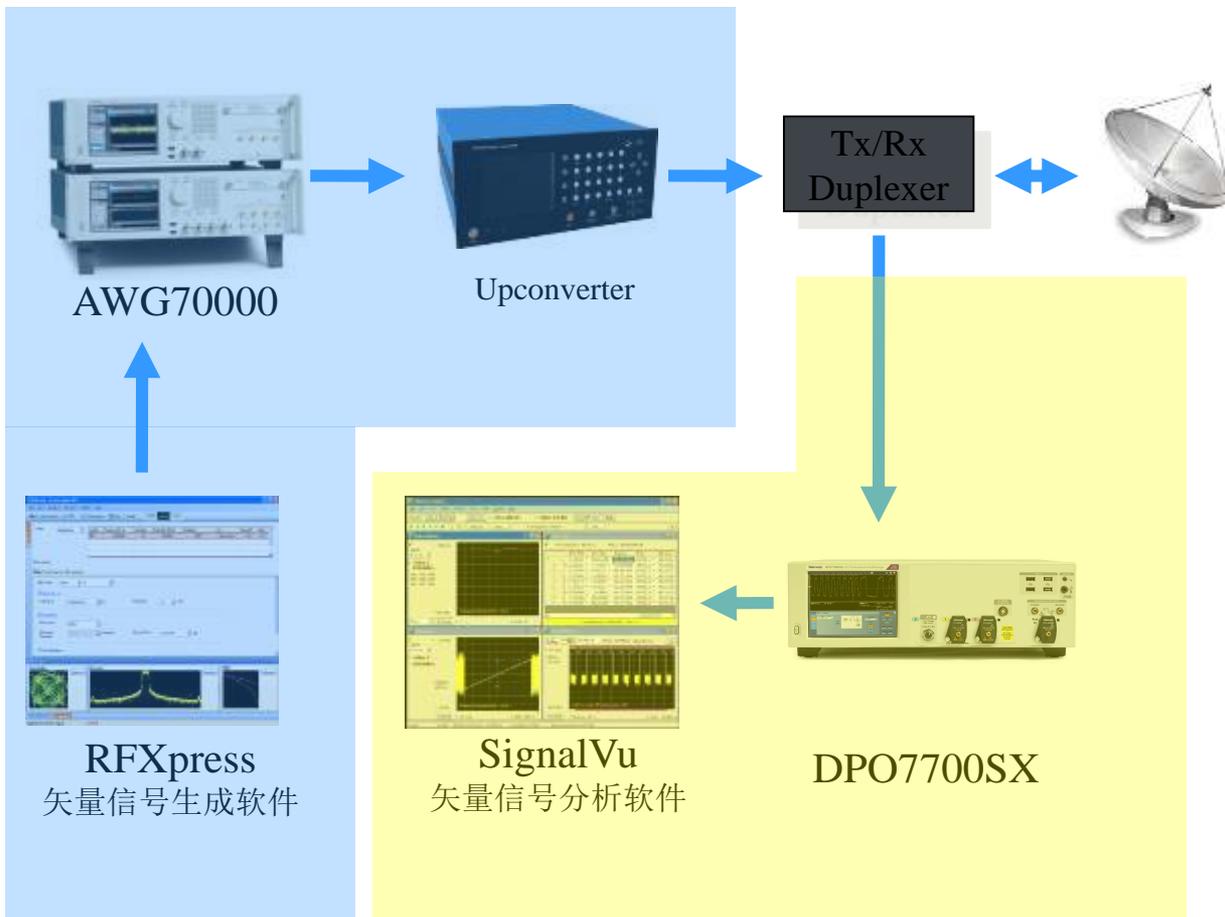
RF ANALYSIS FOR ALL TEKTRONIX INSTRUMENTS



总结



无线技术无处不在



- 70GHz信号直接接收
- 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
- 支持各种现代体制宽带通信号产生及分析

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，可能需要预失真（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

Tektronix[®]