

示波器的强大的射频分析能力

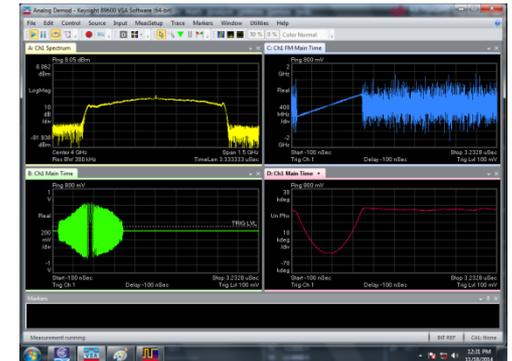
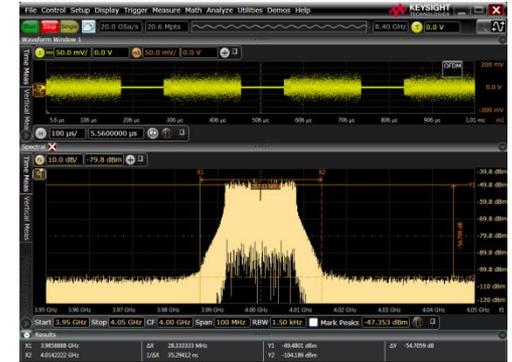
叶树栋
市场开发工程师
186 1216 0975
sandro_je@keysight.com

2016年3月



Agenda

- 使用示波器做RF测量 (30 分钟)
 - 何时使用示波器，何时使用频谱仪？
 - 示波器里有什么 RF 测量能力？
 - 示波器的FFT分析功能的进展
 - 使用数学函数做更多的 RF 分析
 - 判断一台示波器能够完成多好的RF测量
- 示波器和专业的矢量信号分析软件 (15 分钟)
 - 实例：宽带EVM 测量 和 调制解调分析

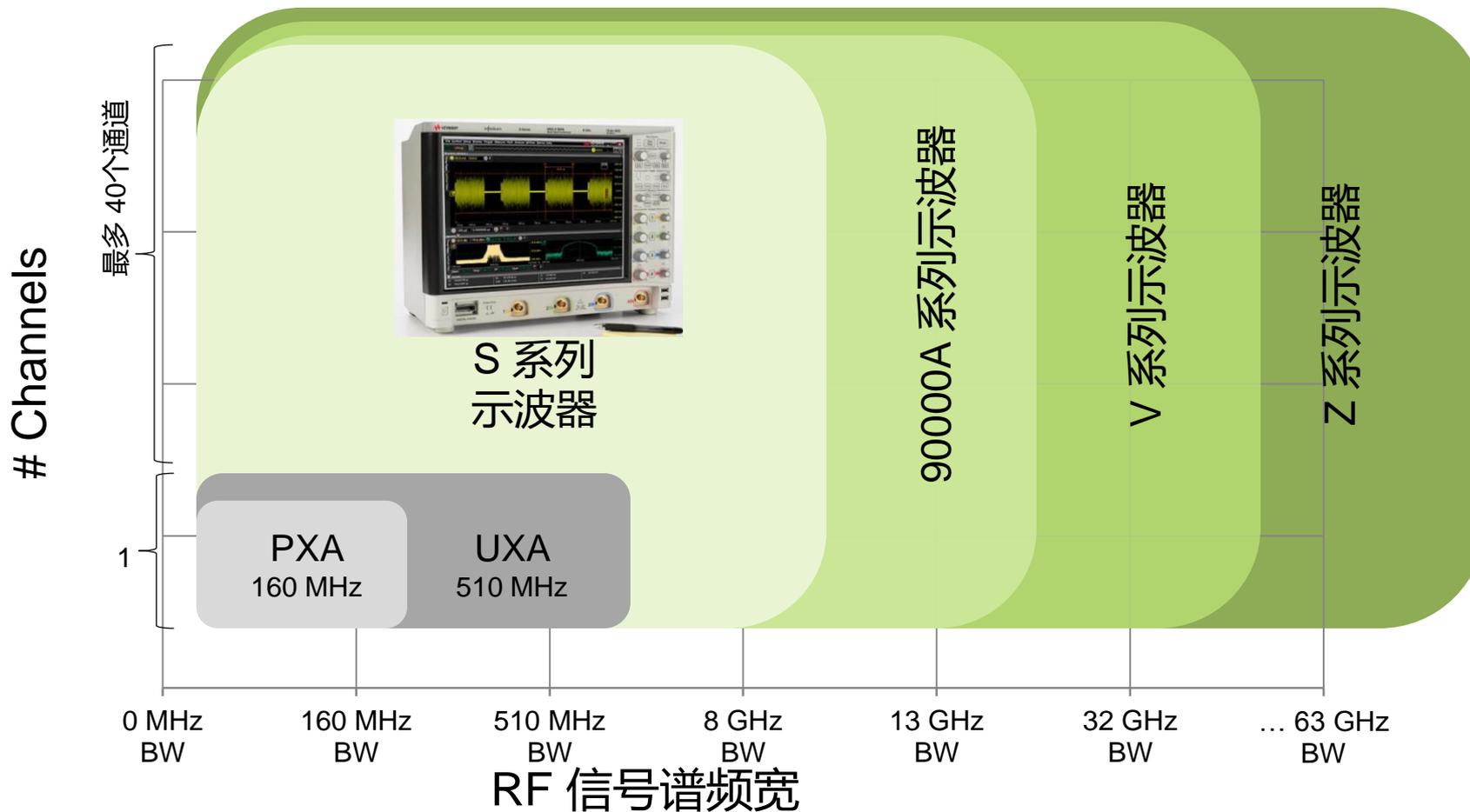


示波器RF测量能力的重要性与必要性

- 透过示波器的频域观察能力提升调试和验证效率
 - 电源分布系统的噪声来自何处?
 - 快速方便地观察DUT 的频谱内容
- 示波器是验证宽带 RF信号的几种方法之一
- 从实践的角度理解新示波器技术，会有助于您选择合适的工具完成验证
- 可长时间捕获信号的技术和工具，对被测对象深度验证
 - 存储深度选件可达2G点
 - Infiniium V系列支持对高速串行信号的深度触发(160-bit 硬件串行触发)



对示波器通道数和带宽的需求



射频测量各自的优势



– 频谱和信号分析仪

- 带内测量
- 带外测量
- RF 参数自动测量
- 动态范围指标优异
- 小分辨率带宽时，吞吐率很快



– 示波器

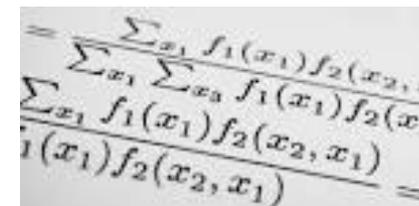
- 带内测量
- 分析带宽最高
- 通道数超过一个通道
- 支持分段存储可长时间捕获数据
- 支持完备的时域分析

示波器的数学函数



- **高级数学函数**

- 现代示波器都支持多种数学函数
- 数学函数可以：
 - 帮助工程师以更有意义的形式观察波形
 - 可大幅提高调试/测试 效率
 - 通常都支持FFT
- 每种示波器支持的数学函数种类不同
- 有些示波器支持调入 Matlab .m 文件以完成复杂的函数分析

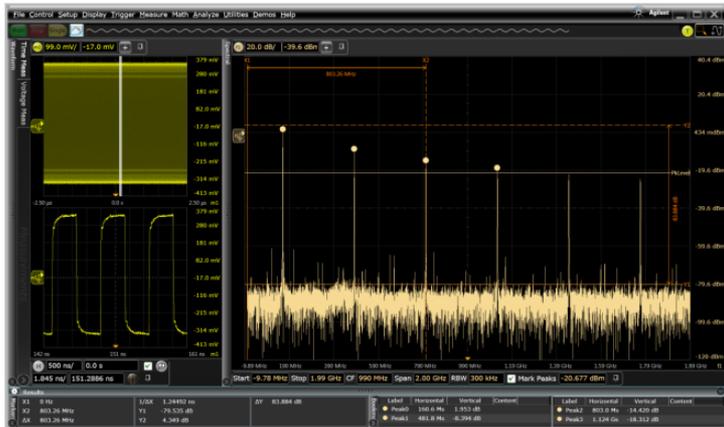

$$= \frac{\sum_{x_1} f_1(x_1) f_2(x_2, x_1)}{\sum_{x_1} f_1(x_1) f_2(x_2, x_1)} =$$

- **测量**

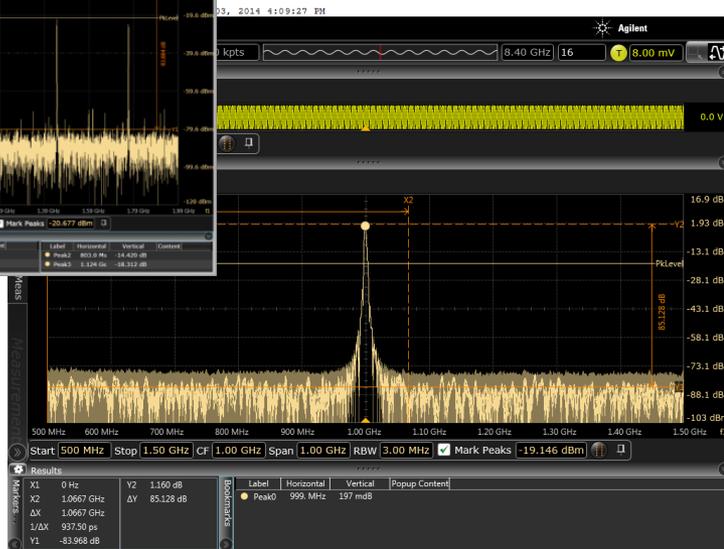
- 示波器的基本功能
- 可以基于FFT和其它函数波形完成测量



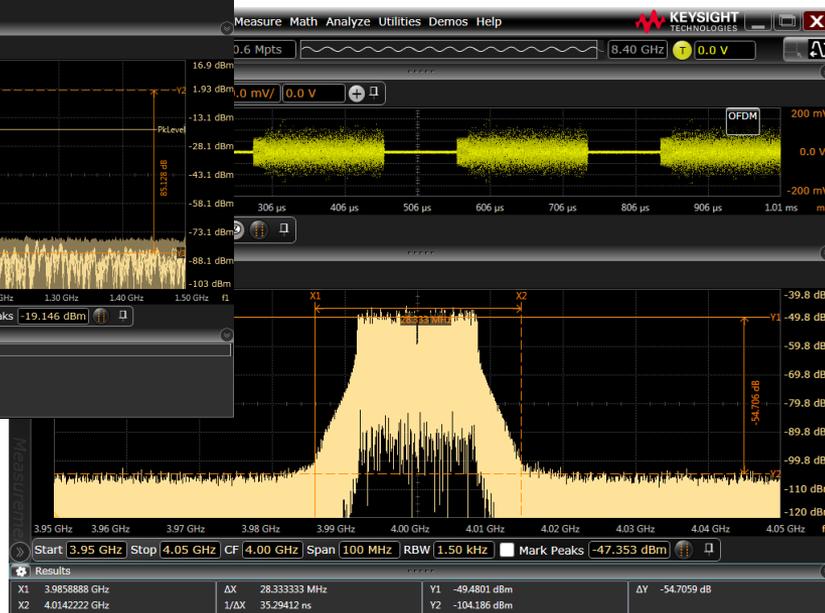
频域数学函数举例



时钟信号的基波 & 谐波



意外的干扰源



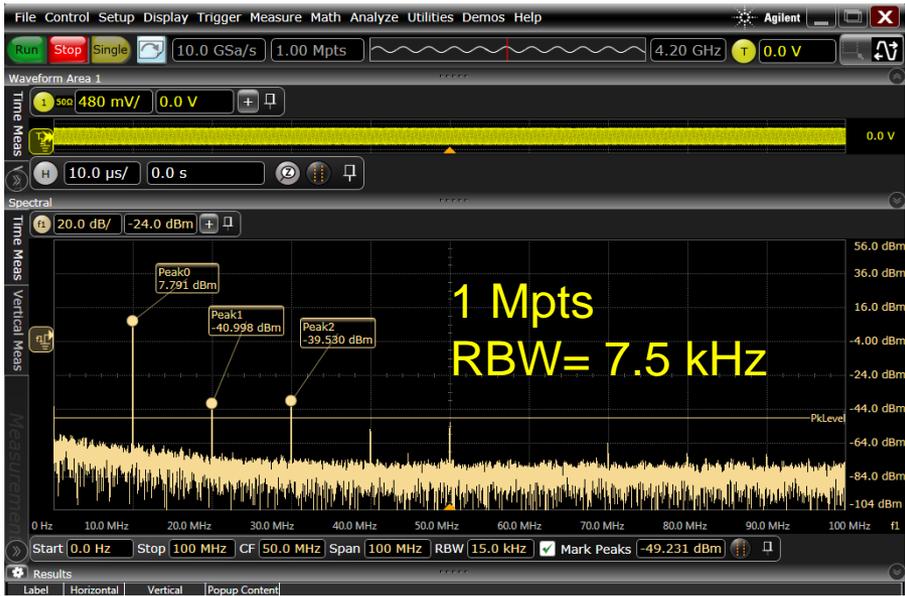
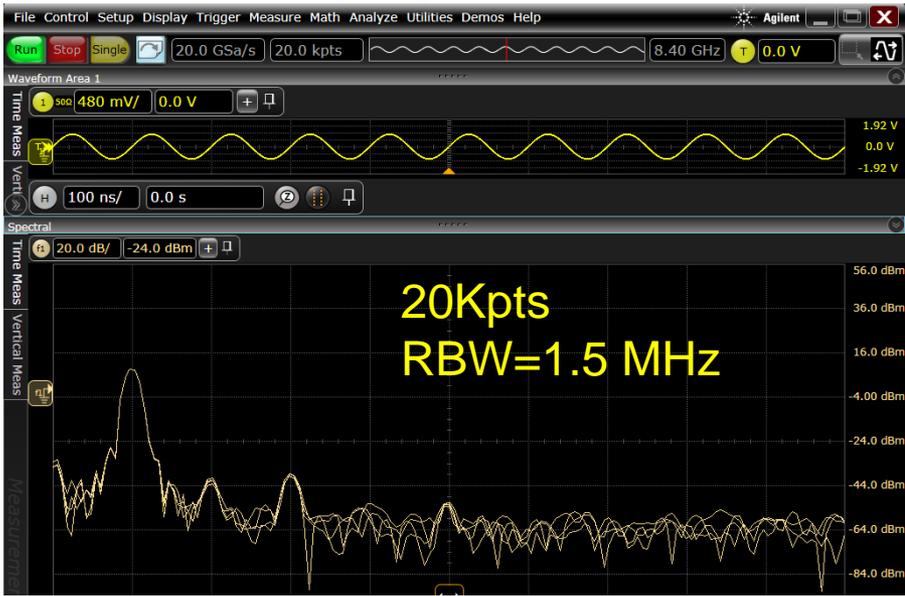
宽带 FFTs



Using your scope
to make RF
measurements

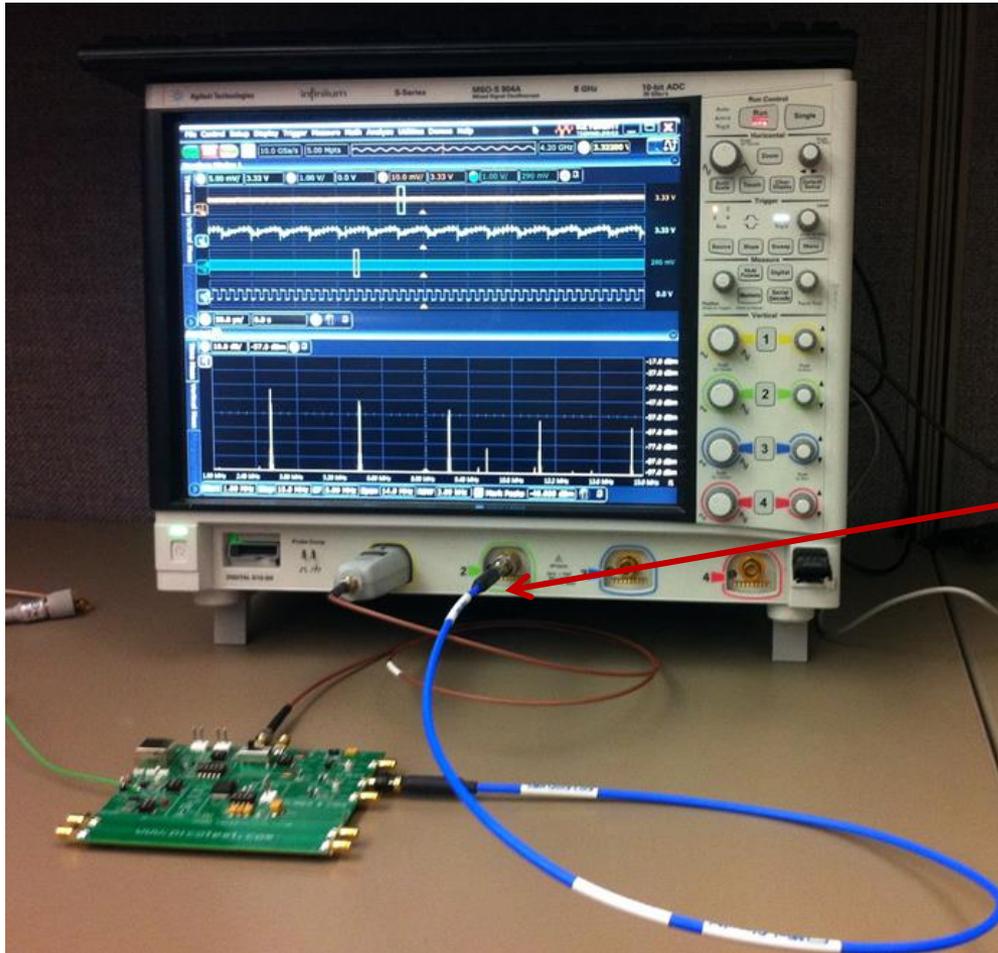
固定采样率下，存储深度越深，意味着RBW越精细

代价= 处理速度变慢



热门应用：电源完整性测试

转化成各种时钟抖动的电源分布噪声



- 新的电源完整性探头, 2 GHz 带宽, 50k ohm, 1:1, +/- 24V 直流
- 可直接测量直流电源上的微小信号波动
- FFT 可提供噪声来源的关键线索

频域中观察到的10MHz 耦合时钟

接着以时钟信号为触发通道，这会平均掉其它噪声



← 2.34 V 直流电源
← 3.34 V 直流电源细节放大

← 0.0 V 10 MHz 时钟
← 0.0 V 时钟的放大细节观察

← 电源切换噪声中观察到的耦合进来的10MHz时钟

用数学函数完成高级RF测量

- 1 GHz 带宽 Chirp 信号测试实例: 使用 3 个数学函数



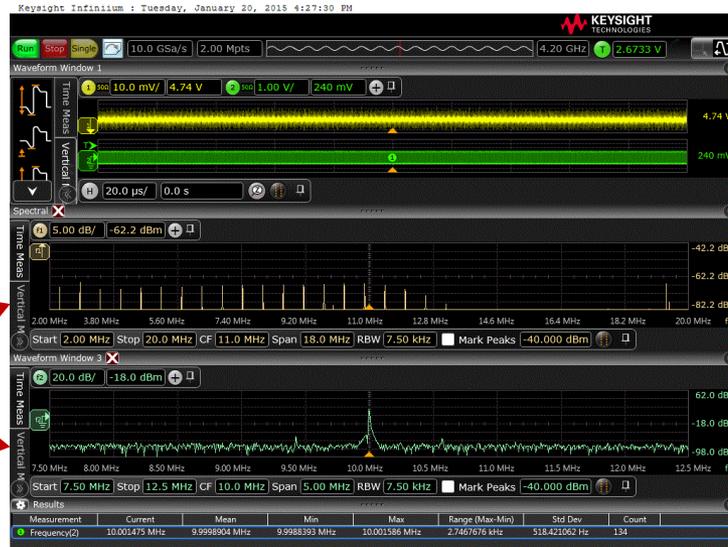
- 时钟TIE的“测量趋势”图可观察到相移的反相
- 射频脉冲串中的一个射频脉冲时域波形
- 频率的“测量趋势”图可观察 RF 脉冲中的频率飘移 (1 GHz 线性飘移)
- RF脉冲的FFT(多个FFT窗口选项)

多个FFTs

- 多个时间选通

- 同一个波形的 FFTs, 但起始和截止频率不同

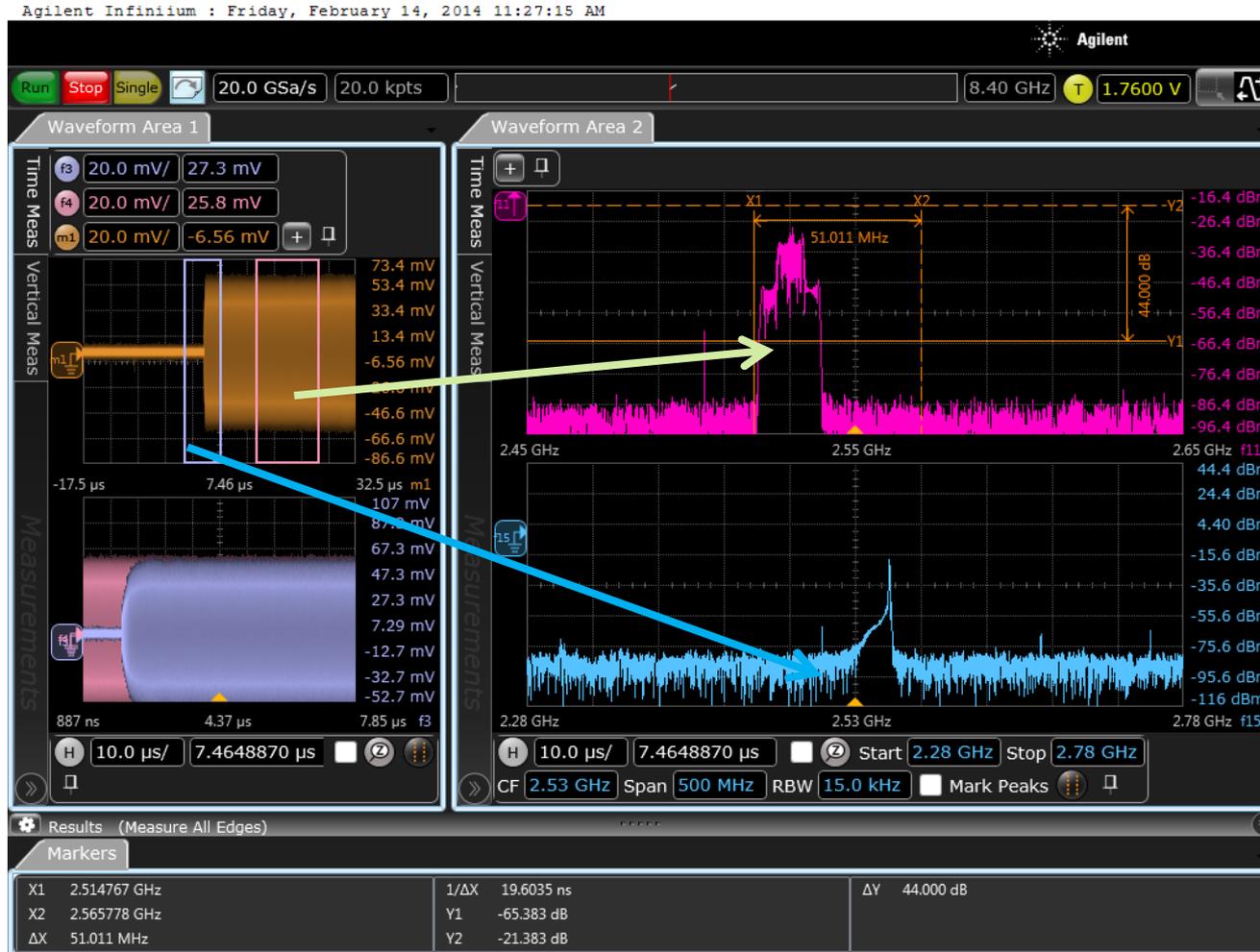
- 不同通道信号的FFT



实例演示: 时间选通FFTs



选通 FFTs实现 时间相关的混合域测试



你的示波器在RF测量方面有多好或多坏？

- 不同的示波器是不一样的
- 示波器产品说明书通常不包括RF指标
- 信号完整性技术 (低噪前置放大器, 校准滤波器, 较高的ADC有效位) 好的示波器, 其RF测量指标会更好
- 怎样得到RF指标
 - 从时域指标转换
 - 请示波器厂家提供RF指标



Keysight 如何给出示波器的射频指标

TOI & EVM



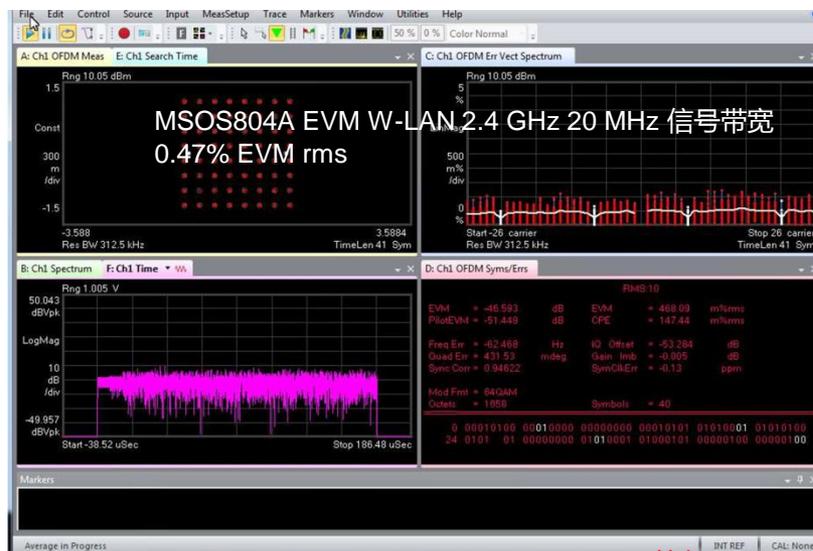
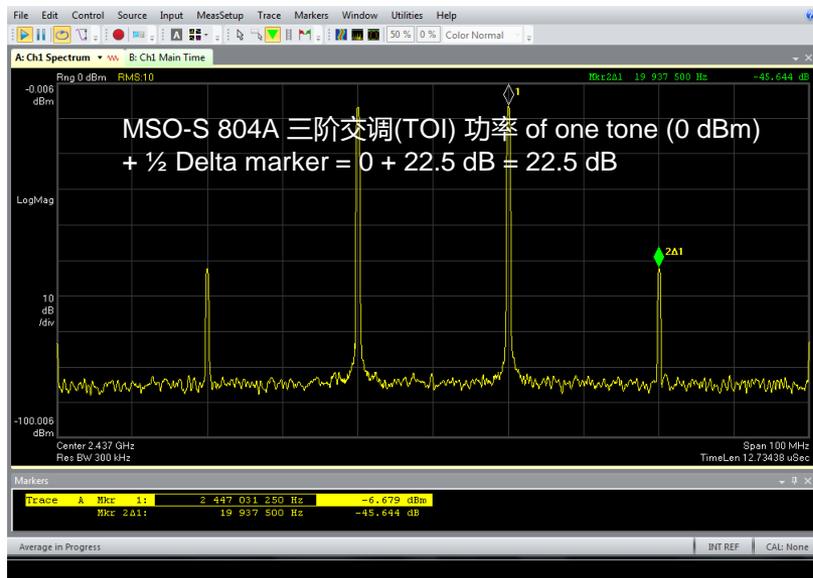
PSG 信号源



PSG 信号源



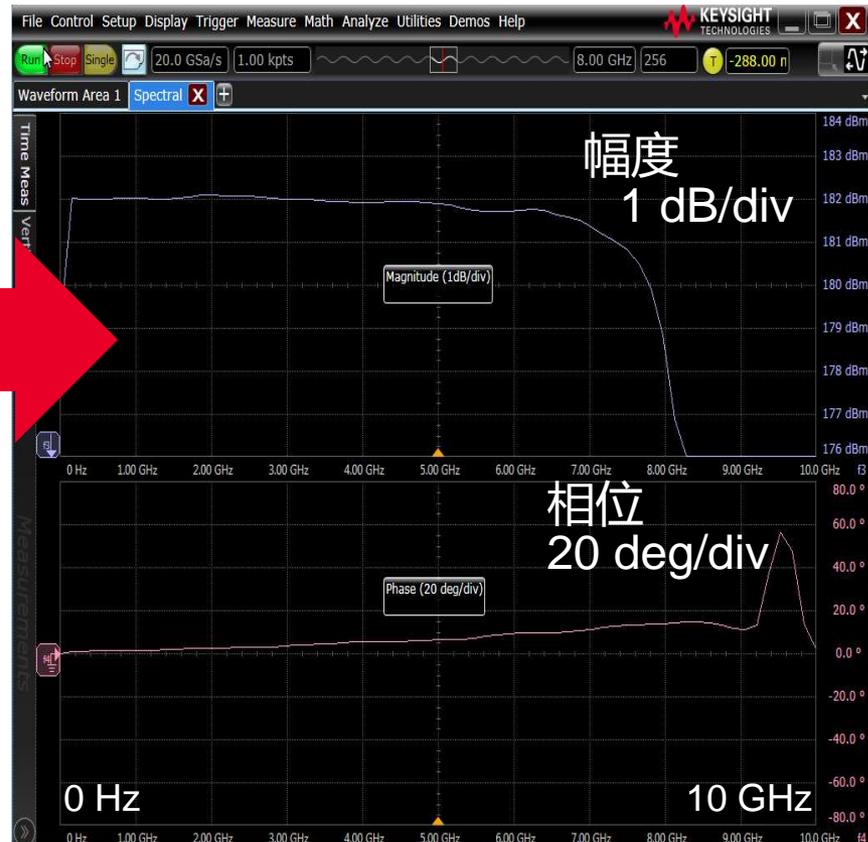
+ VSA



Using your scope
to make RF
measurements

新一代示波器的改进

幅度和相位频响平坦度

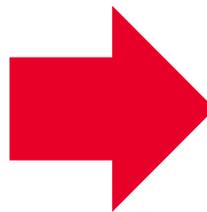
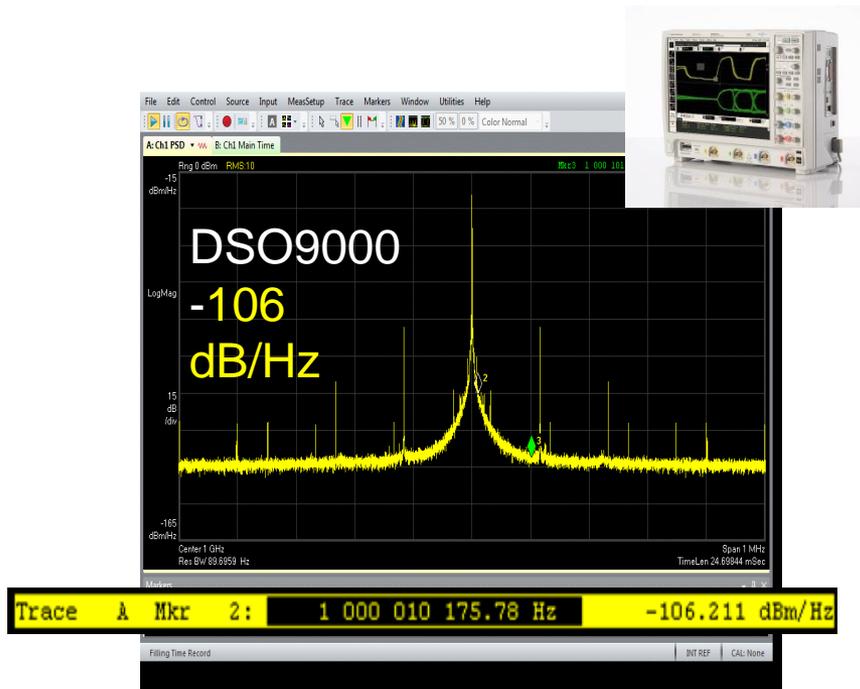


4 GHz 带宽 9000 系列示波器 --- 无采集校准

8 GHz 带宽 S 系列 --- 引入采集校准技术

新一代示波器的改进

相噪例子



举例: 由 V_{rms} 底噪推导出噪声密度



50 mV/div and 8 GHz BW →

dBm to Volts Conversion Calculator

Enter a Z value and one other value.	
dBm:	
Vpp:	
Vrms:	.0014
Z (Ohms):	50
Calculate	
dBm:	-44.067139329795424
Vpp:	0.0039597979746446654
Vrms:	.0014

http://www.coretechgroup.com/dBm_Calculator.php

From S-Series Data Sheet

S-804A	V/div	dBm Ref Level	dBm/Hz Noise
260 μ V	1mV/div	-28 dBm	-158 dBm/Hz **
260 μ V	2mV/div	-28 dBm	-158 dBm/Hz
320 μ V	5mV/div	-24 dBm	-156 dBm/Hz
390 μ V	10mV/div	-18 dBm	-154 dBm/Hz
620 μ V	20mV/div	-12 dBm	-150 dBm/Hz
1.4 mV	50mV/div	-4 dBm	-143 dBm/Hz
3.1 mV	100mV/div	+2 dBm	-136 dBm/Hz
6.4 mV	200mV/div	+6 dBm	-130 dBm/Hz
13.3 mV	500mV/div	+16 dBm	-124 dBm/Hz
24.1 mV	1V/div	+22 dBm	-118 dBm/Hz

1.4mV rms 底噪 =
 -44dBm @ 8GHz =
 $-44\text{dBm} - 10\log(8\text{E}09) =$
 -143dBm/Hz 噪声密度

示波器厂家提供RF指标

Keysight Infiniium S 系列示波器例子



	S-Series Typical Values (tested at 8 GHz, 1 channel on one scope unless noted)
Sensitivity / Noise Density (1 mV/div; -38 dBm range) Power Spectral Density measurement at 1.0001 GHz, 1.0001 GHz center frequency, 500 kHz span, and 3 kHz RBW	-160 dBm/Hz
Noise Figure (derived from measurement above)	14 dB
Signal to Noise Ratio / Dynamic Range (0 dBm 1 GHz input carrier, 0 dBm scope input range) 1 GHz center frequency, 100 MHz span, 1 kHz RBW, measurement at +20 MHz from center	108 dB
Absolute amplitude accuracy (0 to 6 GHz)	+/- 0.5 dB
Deviation from linear phase (0 to 6 GHz; Gcal measure)	+/- 2 deg
Phase noise (@ 1 GHz)	
10 KHz offset	-121 dBc/Hz
100 KHz offset	-122 dBc/Hz
EVM (802.121 64 QAM)	-47 dB (0.47%)
Spurious responses	
Spur Free Dynamic Range (SFDR)	
1 GHz, 0dBm signal present at input, FFT =5 GHz span, 3 GHz center, 100 kHz RBW	72 dB
2nd Harmonic distortion	
1 GHz input, 0 dBm, 5 GHz span, 3 GHz center, 100 KHz RBW	-64 dBc
3rd Harmonic distortion	
1 GHz input, 0 dBm, 5 GHz span, 3 GHz center, 100 KHz RBW	-46 dBc
Two-Tone Third-Order Intermodulation distortion (TOI)	
0 dBm input tones, 2.435 GHz and 2.439 GHz, 2 MHz separation, 2.437 GHz center frequency, 10 MHz span, 100 kHz RBW	+21.5 dB
Input Match (0-6 GHz, no attenuation)	-15 dB; 1.4 SWR

Stated typical values are preliminary, subject to change, and not guaranteed

示波器厂家提供RF指标

Keysight Infiniium V 系列示波器例子

更快完成分析 — 频域性能

您在试图确定某台示波器能否用于射频、微波和毫米波测量时，想要基于其时域技术指标来判断，这不是一件容易的事。V系列示波器不仅提供时域指标也提供详细的频域指标，其设计中已经考虑了频域性能，包括校正滤波器、低噪声前端和无杂散动态范围校准。

	V系列典型值 (除非另行说明, 该值是指在33 GHz带宽上, 对示波器的其中一个通道进行测试所得到的数值)
灵敏度/噪声密度 (1 mV/格; -38 dBm 量程) 在 1.0001 GHz, 1.0001 GHz 中心频率, 500 kHz 扫宽和 3 kHz RBW 上进行功率谱密度测量	-159 dBm/Hz
噪声系数 (从上述测量中得出)	+15 dB
信噪比/动态范围 (-1 dBm, 1 GHz 输入载波, 0 dBm 示波器输入范围) 1 GHz 中心频率, 100 MHz 扫宽, 1 kHz RBW, 在距离中心频率 +20 MHz 处测量	+111 dB
绝对幅度精度 (0 至 30 GHz)	± 0.5 dB
线性相位偏移 (0 至 33 GHz)	± 3°
相位噪声 (1 GHz 时)	
10 kHz 频偏	-125 dBc/Hz
100 kHz 频偏	-131 dBc/Hz
EVM (802.121 2.4 GHz 载波, 20 MHz 宽, 64 QAM)	-47 dB (0.47%)
杂散响应 (-4.6 dBm 输入信号, -4 dBm 输入范围) 无杂散动态范围 (SFDR) 1 GHz, 输入端上的 -4.6 dBm 信号, FFT = 5 GHz 扫宽, 3 GHz 中心频率, 100 kHz RBW	+67 dB
二次谐波失真 1 GHz 输入, -4.6 dBm, 5 GHz 扫宽, 3 GHz 中心频率, 100 kHz RBW	-51 dBc
三次谐波失真 1 GHz 输入, -4.6 dBm, 5 GHz 扫宽, 3 GHz 中心频率, 100 kHz RBW	-51 dBc
双音三阶互调失真 (TOI) -6.6 dBm 输入音, 2.435 GHz 和 2.439 GHz, 2 MHz 分离, 2.437 GHz 中心频率, 10 MHz 扫宽, 100 kHz RBW, 8 dBm 量程	+28 dB
输入匹配 (S11) (< 50 mV/格, 0-30 GHz, 无衰减)	-15 dB; 1.4 VSWR
(≥ 50 mV/格, 0-30 GHz, 无衰减)	-21 dB; 1.2 VSWR

preliminary, subject to
d



KEYSIGHT Infiniium V 系列的典型频域指标 (不是保证指标, 随时会改)。
TECHNOLOGI



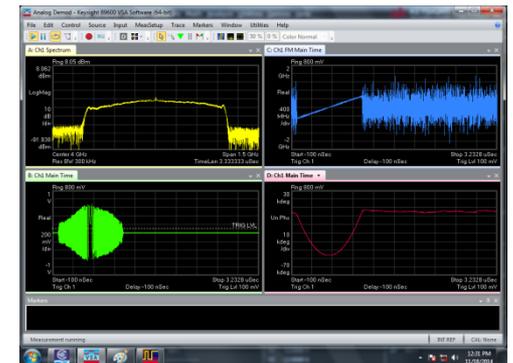
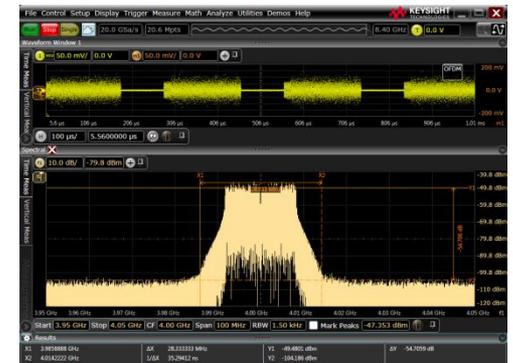
Agenda

– 使用示波器做RF测量 (30 分钟)

- 何时使用示波器，何时使用频谱仪？
- 示波器里有什么 RF 测量能力？(FFT)
- 示波器的FFT分析功能的进展(注解旁白, 选通, 多 FFT)
- 使用数学函数做更多的 RF 分析
- 判断一台示波器能够完成多好的RF测量 (RF 特性 – 不同的示波器是不一样的)

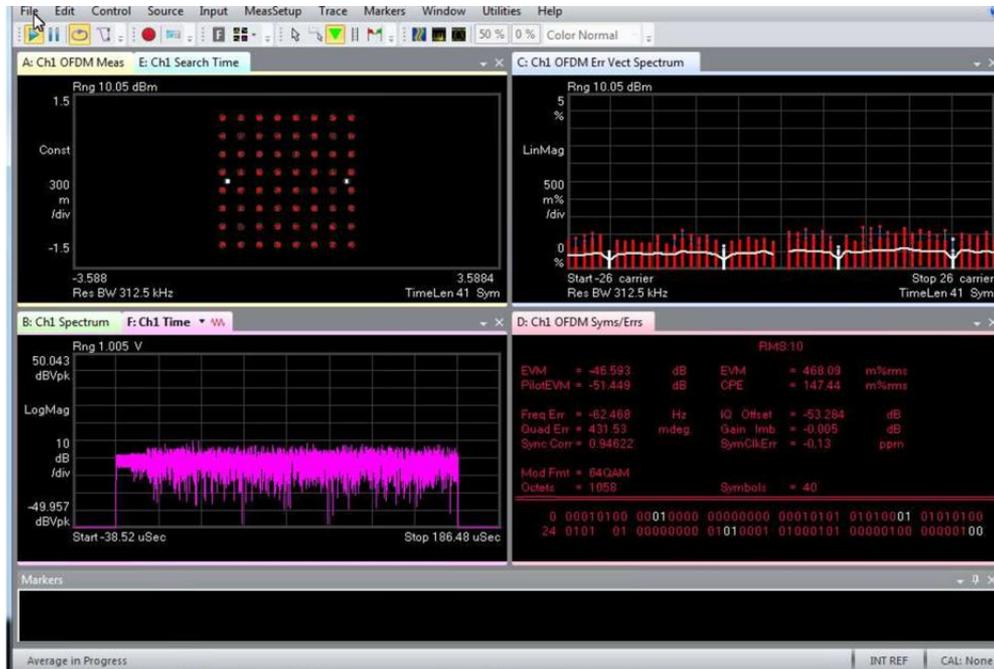
– 让示波器和专业的射频分析软件 (15 分钟)

- 实例：宽带EVM 测量 和 调制解调分析



其它分析

VSA (适量信号分析) 软件可装到示波器上, 也可装到PC 上



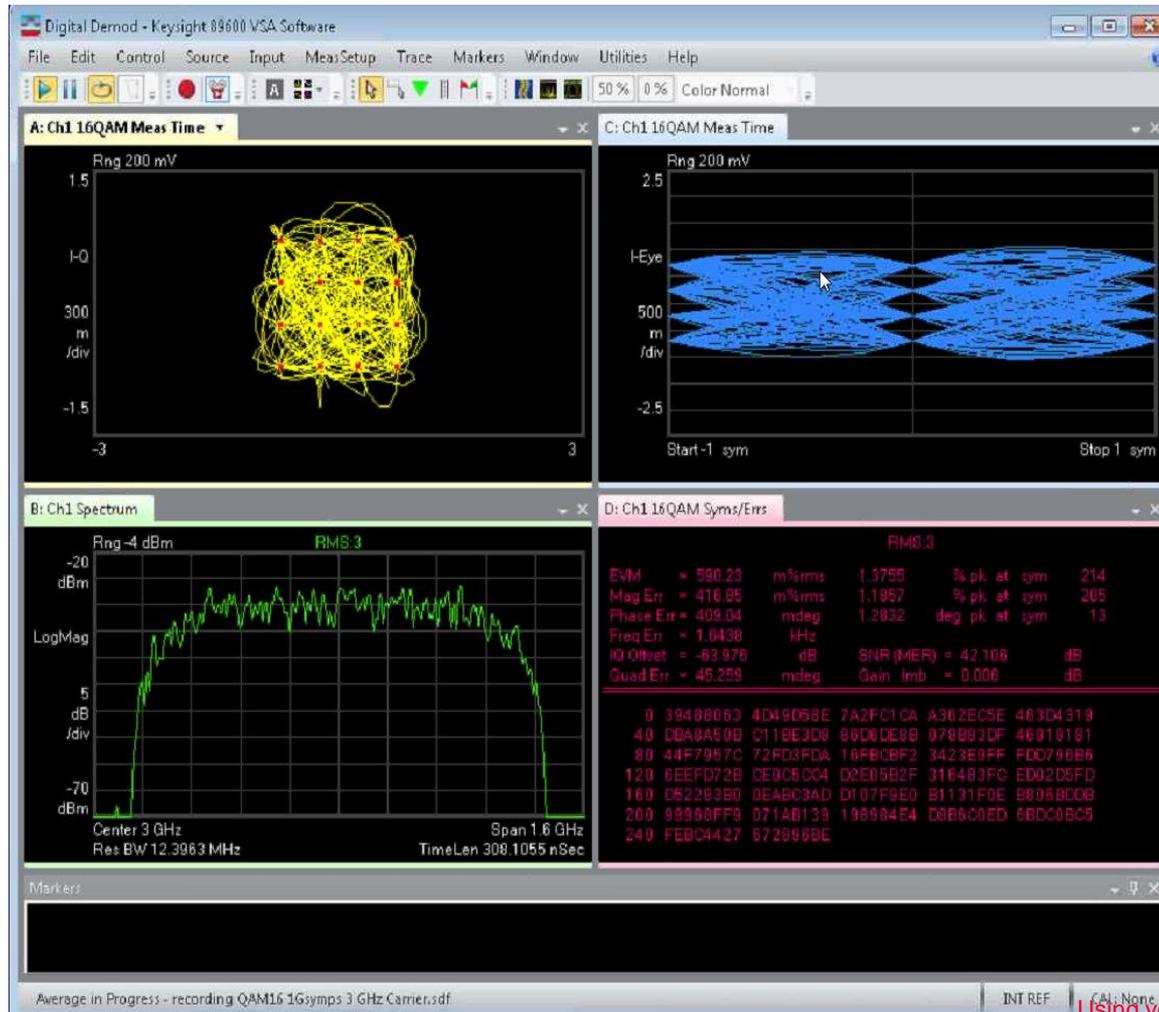
其它分析

频谱数学函数

- EVM
- Channel power
- PSD
- ACP
- OBW

星座图

演示矢量示波器--- 16QAM demod 3 GHz wide



Chirp 雷达信号分析演示 --- 2 GHz 信号带宽



2 GHz 线性调频 chirp

测量:

- 频谱
- 脉冲串“实时波形”
- 脉冲串的频谱
- 脉冲串的Unwrapped phase



演示：VSA 版本19.0的脉冲分析选件BHQ

支持示波器的分段存储，以对长时间捕获的信号进行分析



多达 64k 段

完备的 RF 脉冲测量

统计分析

目前我们介绍了哪些？



示波器用在 RF 测量领域

- 新一代示波器可作为宽带RF接收机使用, 提供优异的带内RF测量
- 需小心注意的是基于示波器的FFT方案, 在 RBW 较小时, 其吞吐率变慢
- 针对最新的脉冲和宽带通信应用, 示波器提供最高的分析带宽
- 新一代示波器的噪声谱密度可能超过您的想象, 可以用于小信号测量
- 支持FFT的示波器无法取代矢量信号分析仪
- 结合了VSA 软件的示波器变身为强大的宽带RF测量工具

用于高质量RF测量的Keysight示波器

所有示波器都是深存储：800M ~ 4G点

- S 系列10比特示波器，带宽500MHz ~8 GHz
 - SFDR 指标：-72dBc @ 1GHz
- 90000A 系列示波器，带宽2.5GHz~13 GHz
- V 系列磷化铟示波器，带宽8GHz ~ 33 GHz
 - 串行信号深度调试,160-bit 串行信号触发，12.5Gbps速率
- Z 系列磷化铟示波器，带宽20GHz ~ 63GHz
 - 四个通道同时使用，每个通道33GHz带宽



Keysight Infiniium V 系列示波器(8GHz ~ 33GHz)

从“新”出发，从“深”开始



• 从“新”出发

- 63GHz磷化铟半导体工艺引入到8GHz带宽领域
- 12.5Gbps硬件160-bit 串行信号触发，业内唯一可跟踪SSC的触发
- 支持误码即触发, 支持码型发生器输出
- 磁铁吸附式探头设计支持8GHz~20GHz范围
- 30GHz带宽电压终接适配器，支持HDMI2.0,MHL,MIPI M-PHY

• 从“深”开始

- 存储深度最深达4G点
- 存储深度标配
 - 2015年9月30日前，**标配1G点**
 - 2015年9月30日后，标配100M点
- 支持串行总线深达**160比特**的硬件触发
- 业内唯一可以对USB3.1 (132-bit) ,PCI-E3.0 (130-bit) Symbol进行触发的方案

促销代码：5.500
从“深”开始、从“新”出发

他牌示波器
有限存储深度

2015年3月2日至2015年9月30日，业界最深存储大放送，**1G**
或800M深度让问题因果无所遁形！

官方微信：是德科技数字测试

