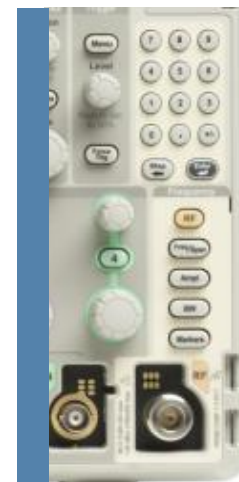
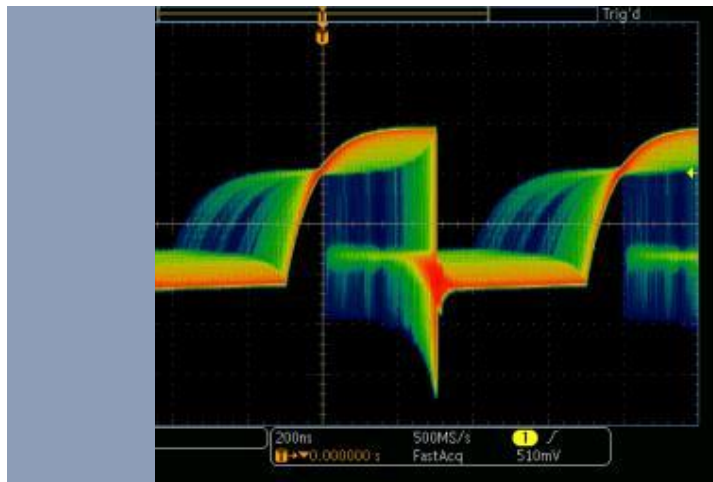


# 混合域分析技术满足未来的测试挑战



泰克 - 王跃伟

[Yuewei.wang@tek.com](mailto:Yuewei.wang@tek.com)



# 内容

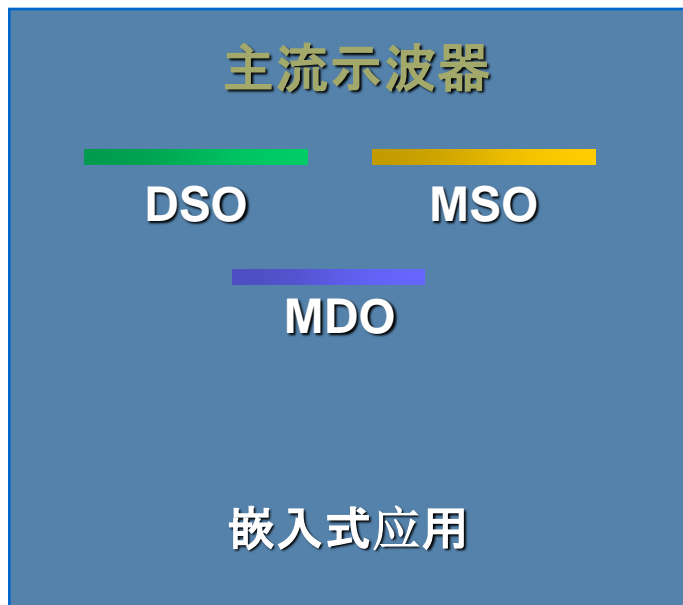
- 泰克公司在主流示波器发展中的创新历程
- 混合域时代的测试需求与挑战
- 泰克推出 **MDO3000** 可定制混合域示波器
  - 产品简介
  - 创新技术
- **MDO4000B**混合域相关分析的创新平台
  - 混合域相关分析的应用
  - 最新的**802.11AC**测试方案
- **MDO**将成为主流产品
  - **MDO3000** 与**MDO4000B**



# 泰克公司在主流示波器发展中的创新历程



# 今天的示波器市场



# 泰克在主流示波器发展的创新历程

模拟示波器到  
数字示波器



重新定义主流  
示波器



MSO 及总线协议  
分析的推出



添加频谱仪功能



新的创新.....



1990

2000

2010

2014

技术发展趋势



更高的带宽



模拟到数字视频

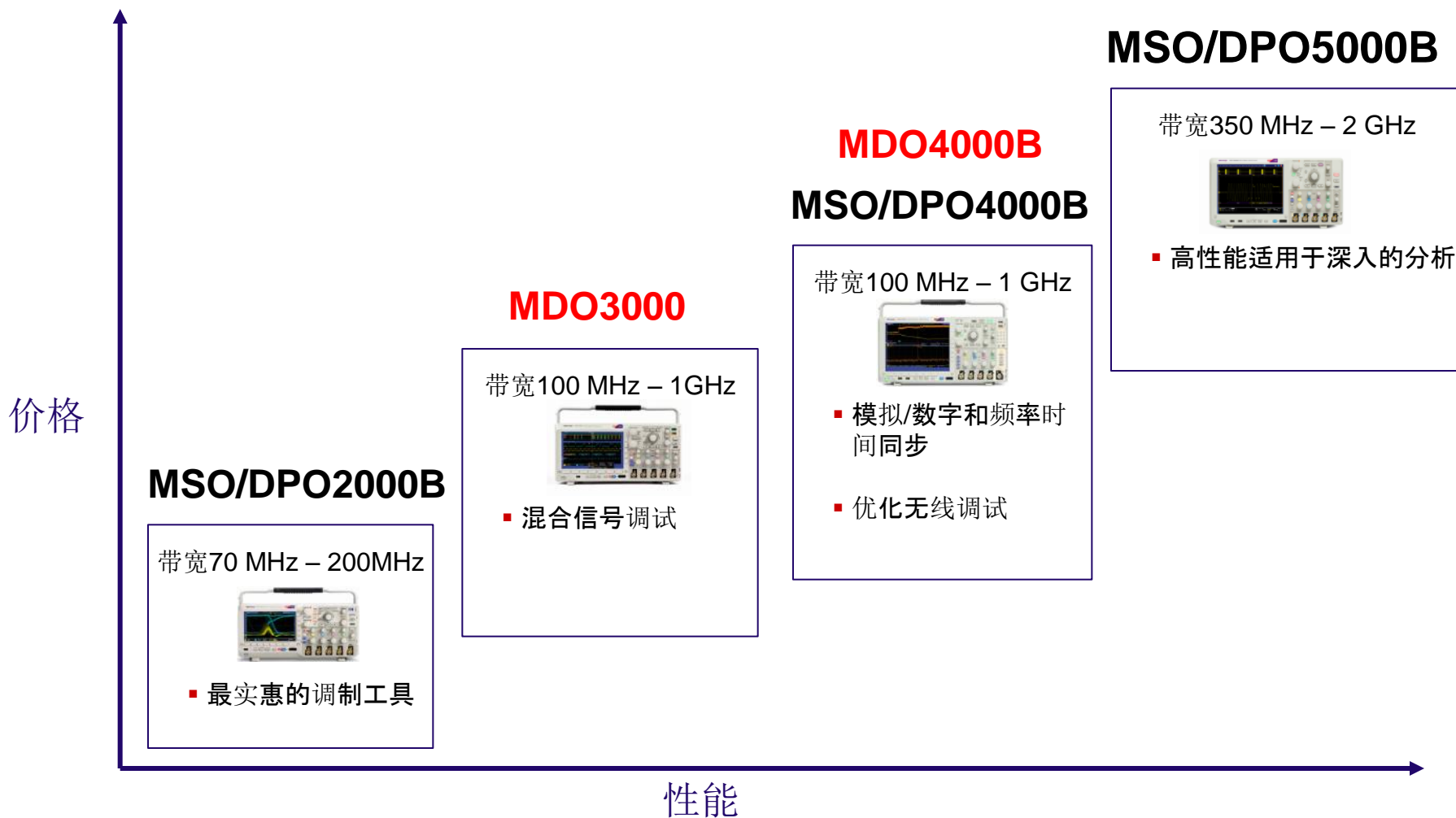


并行到串行数据



无线无处不在

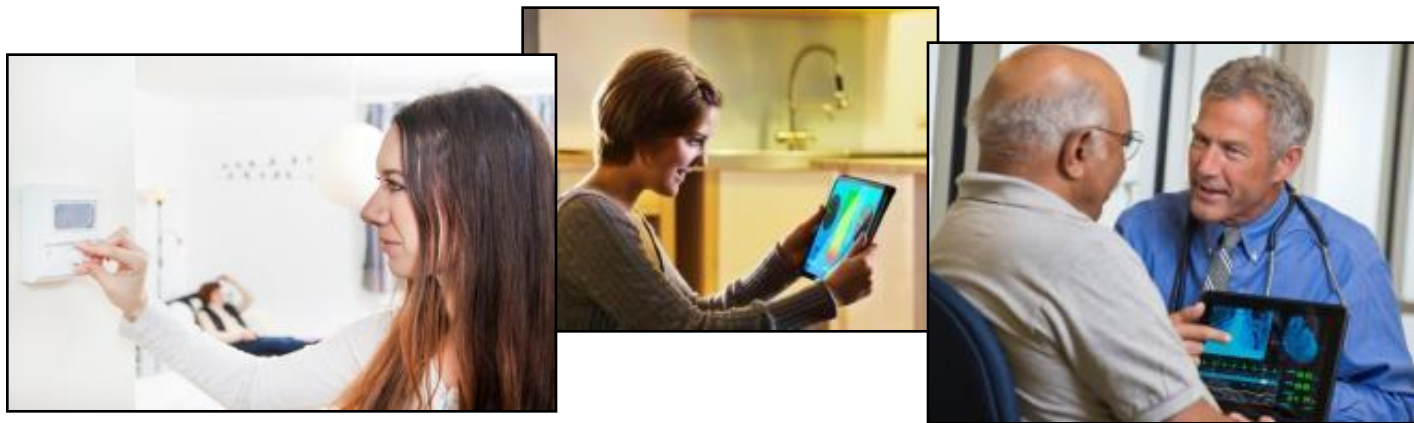
# 泰克公司主流示波器



# 混合域时代的测试需求与挑战

# 射频无处不在 - 混合域分析的驱动力

- 无线正融入嵌入式设备
  - 2011年，售出超过10亿台使用无线网络的设备
  - 2015年，预计售出20亿台带Wi-Fi功能的设备
  - 40%的嵌入式设计项目包括某种形式的无线功能<sup>1</sup>
  - 25%的示波器用户，每周多次使用频谱分析仪<sup>2</sup>



优胜者能够提供真正的混合信号解决方案

(模拟+数字+射频)

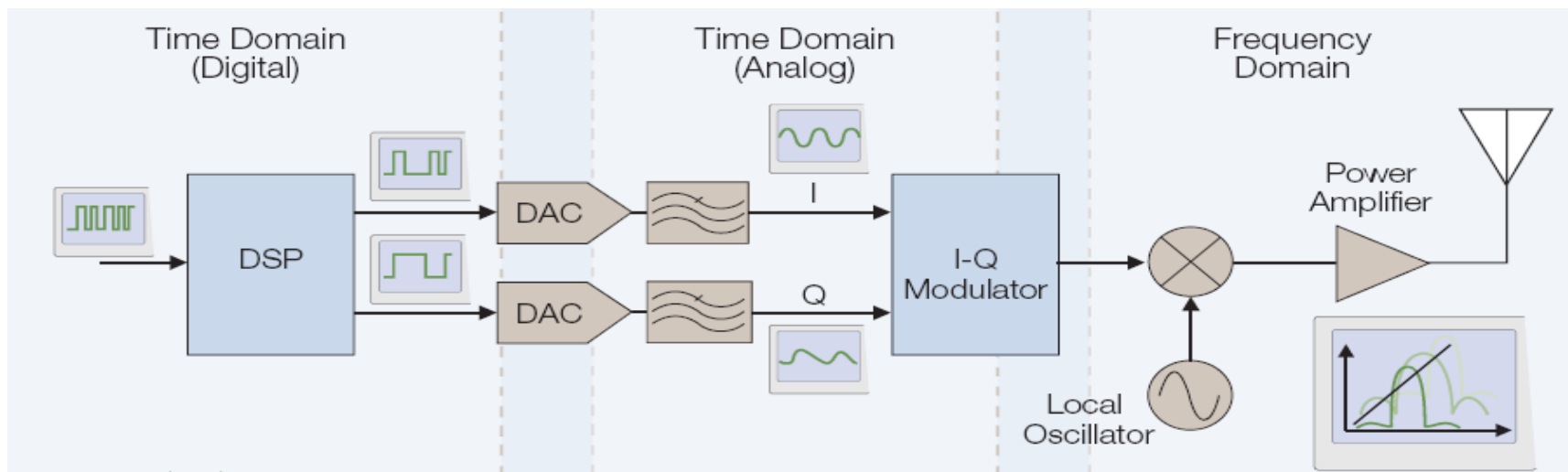
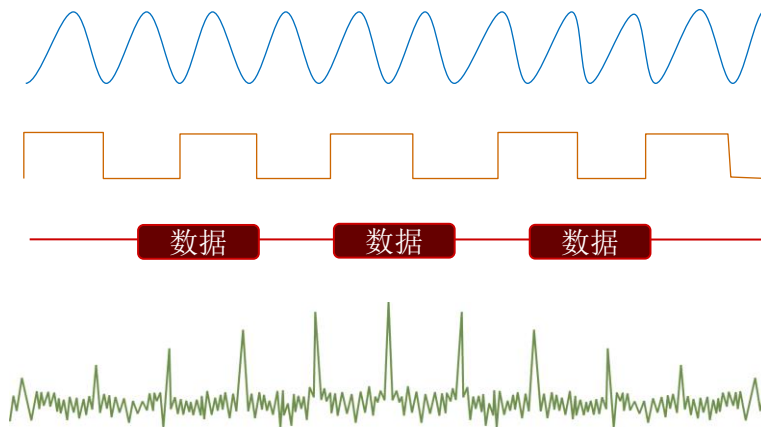
注1：嵌入式市场研究，2013

注2：泰克公司市场调查，2012

# 今天的嵌入式系统

## 射频无处不在

模拟、数字、总线与射频信号同时存在，相互关联



# 今天的嵌入式系统

## ■ 射频无处不在

- 电脑
- 手机
- 数码相机
- 公交收费系统
- 门禁系统
- ETC
- 传感系统
- 汽车电子
- 安防系统
- .....
- 物联网
- 通讯系统



## ■ 射频通信标准繁多

- WLAN, 蓝牙
- WLAN, 蓝牙
- Transfer Jet
- RFID
- RFID
- RFID
- ZigBee, 其它
- 广播, WLAN, 蓝牙
- .....
- RFID, ZigBee, TD-LTE
- GSM/CDMA/3G/4G/.....

# 混合域时代的测试需求与挑战

满足无线嵌入式系统调测与设计需求

- 需要考虑射频参数

满足混合信号测试需求

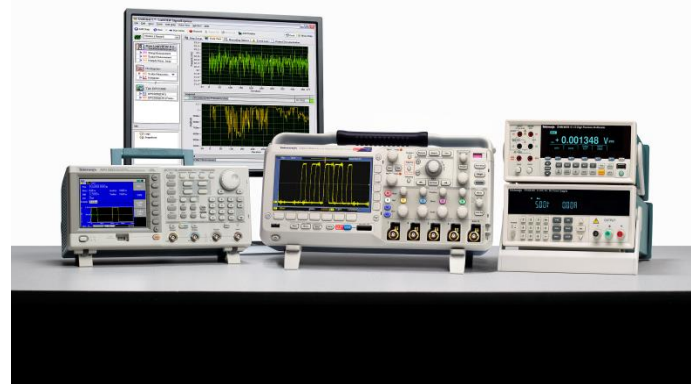
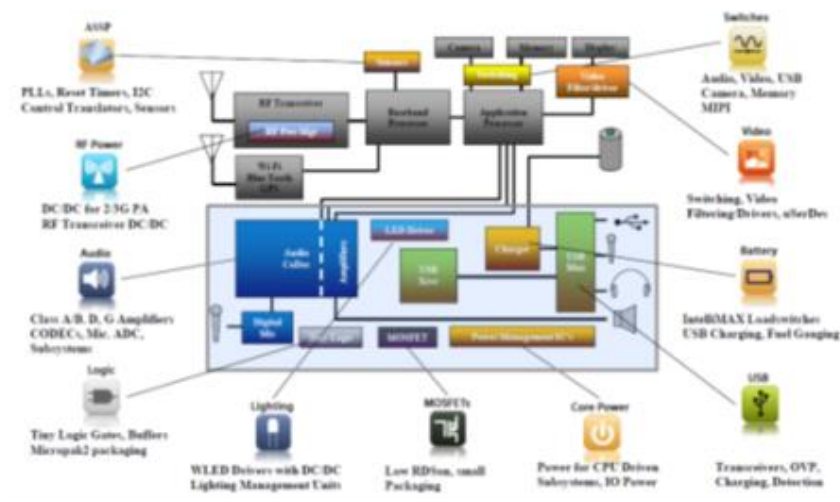
- 需要测试模拟、数字、逻辑、功率、频率.....

简化操作, 方便易用

- 需要测试仪器集成多种功能, 操作界面统一

适应未来需求

- 需要测试仪器可定制, 升级方便



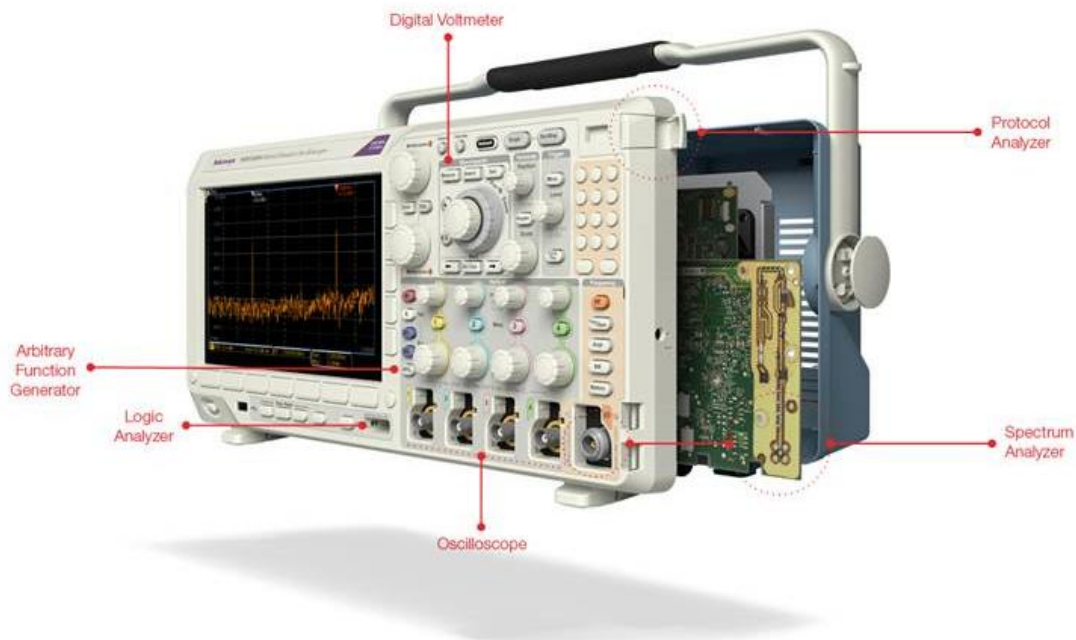
混合域技术就是能同时完成时域(模拟、数字、协议)和频域以及相关分析的新一代测试技术

# MDO3000 —— 可定制混合域示波器

# 新! MDO3000 系列可定制混合域示波器

- 六合一便携设计
- 用户可定制
- 混合域分析

1. 示波器
2. 频谱仪
3. 任意函数发生器
4. 逻辑分析仪
5. 协议分析仪
6. 数字电压表/频率计



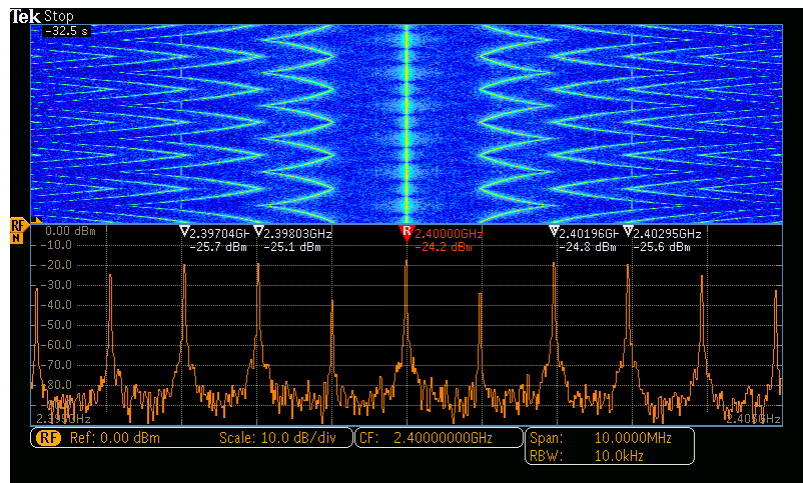
6种仪器, 一台示波器; 多种功能, 无限可能

# 频谱仪

## 9KHz~3GHz独立的频谱仪

### 独立的RF 射频通道

- 标配于各MDO3000型号
  - 频率范围等于该型号示波器模拟带宽
  - 频率范围可升级到 3 GHz
- 频谱仪指标相当于入门级台式频谱仪：
  - -83 dBc/Hz 相位噪声10 kHz 频偏 (2 GHz CW)
  - -138 dBm/Hz (DANL) @ 5 MHz – 1 GHz
- **业内唯一!** 3 GHz 采集带宽

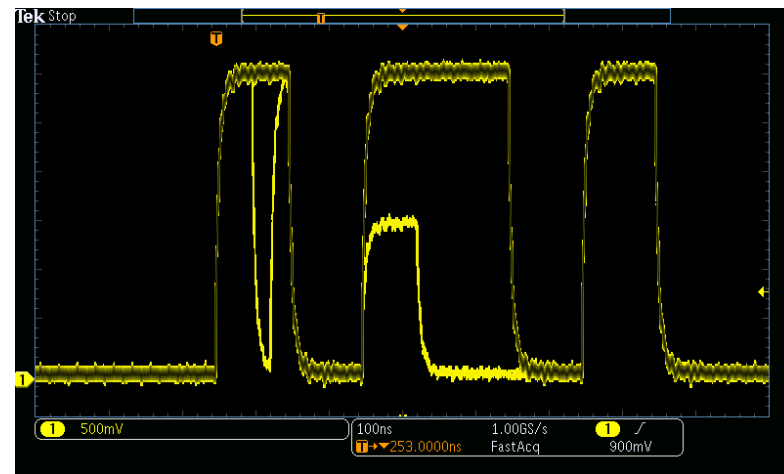
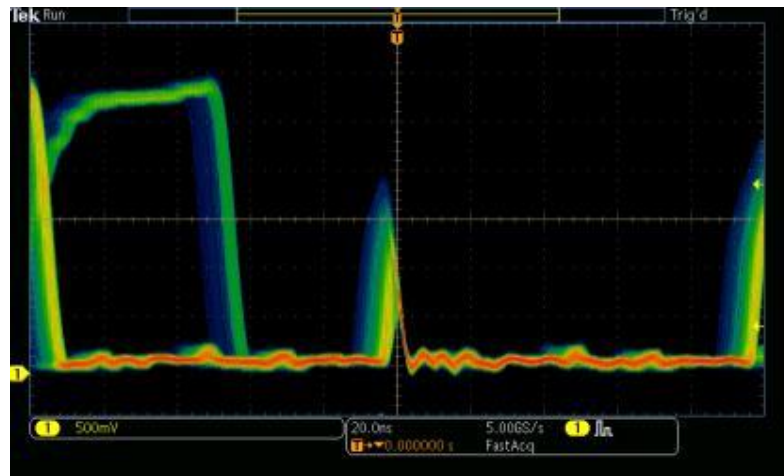


完备的频谱仪

# 示波器

## 高性能主流示波器

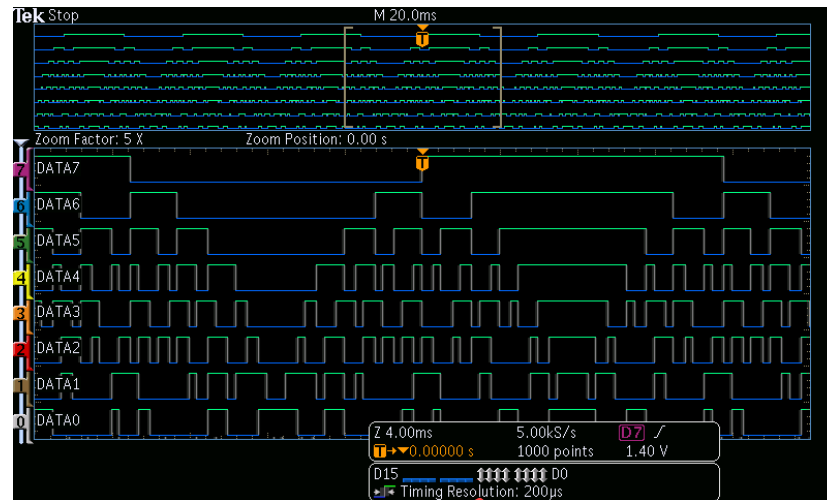
- 100, 200, 350, 500 MHz 以及1 GHz 模拟带宽
- 最高 5 GS/s 采样率
- 2 或 4 模拟通道
- 每通道**10M** 存储深度
- **新!** FastAcq™ 高达 280,000 波形刷新率
- **业内首台** 反色DPX, 方便显示非正常信号
- **业内领先** 仅3.9 pF 输入电容i探头
  - 250 MHz~1 GHz 带宽



快速发现非正常信号

## 数字通道完全同步于模拟通道

- 可选的16个数字通道
- 500 MS/s 采样率  
(2 ns 时间分辨率)
- 专有的 MagniVu, 具有8.25 GS/s 采样率(121.2 ps 时间分辨率)
- 每通道 10M 存储深度



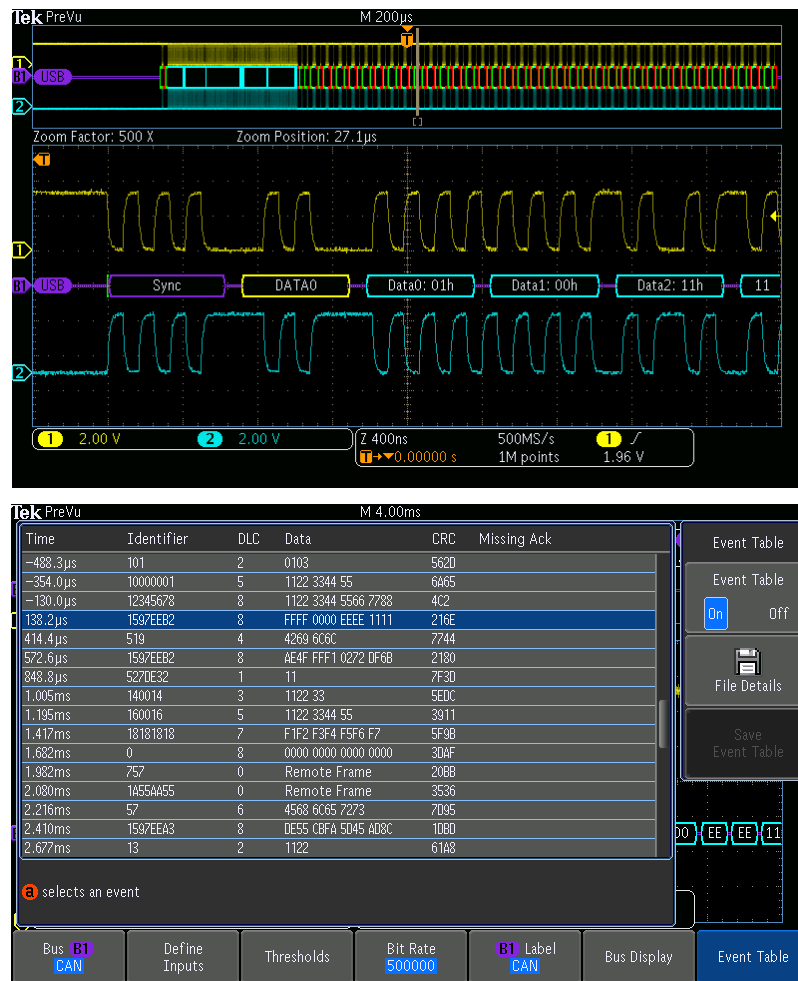
Monitor signal activity window

彩色编码 & 信道分组, 设置及结果

## 串行数据触发、解码于搜索

### 可选协议分析软件

- 物理层数据解码
- 事件表
- 特定数据触发
- 总线类型包括：
  - I<sup>2</sup>C, SPI
  - RS-232/422/485/UART
  - CAN, LIN
  - FlexRay
  - USB2.0
  - MIL-STD-1553
  - I<sup>2</sup>S, LJ, RJ, TDM



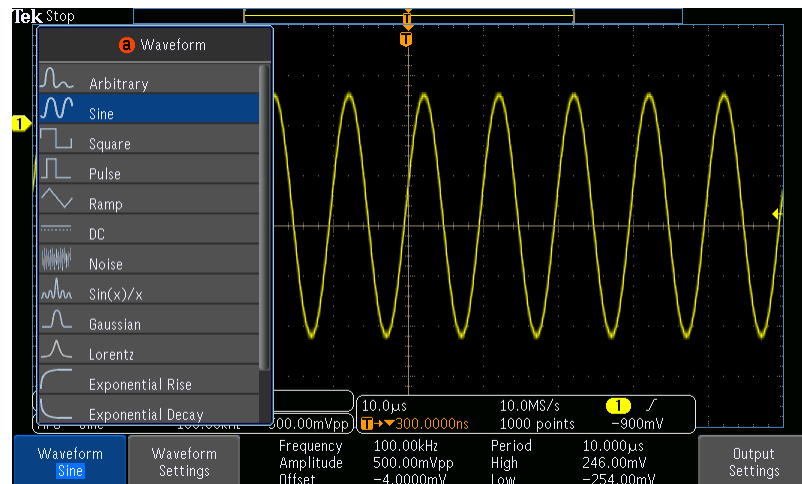
快速捕捉并发现感兴趣的事件

# 任意函数发生器 模拟异常信号加速设计

带宽高达50MHz的可选任意函数发生器

- **业内最高性能的内置** AFG
- 任意波形产生
  - 250 MS/s 输出采样率, 比同类产品快 **2倍**
  - 128K 样点波形存储, 比同类产品高 **8倍**
  - 轻松复制示波器通道信号
- 内置波形编辑器或用泰克 ArbExpress® PC波形编辑软件编辑任意波形

Waveform	Maximum Frequency
Sine	50 MHz
Square, Pulse	25 MHz
Gaussian, Lorentz, Haversine, Exponential Rise/Decay	5 MHz
Sin(x)/x	2 MHz
Ramp (Triangle), Cardiac	500 kHz



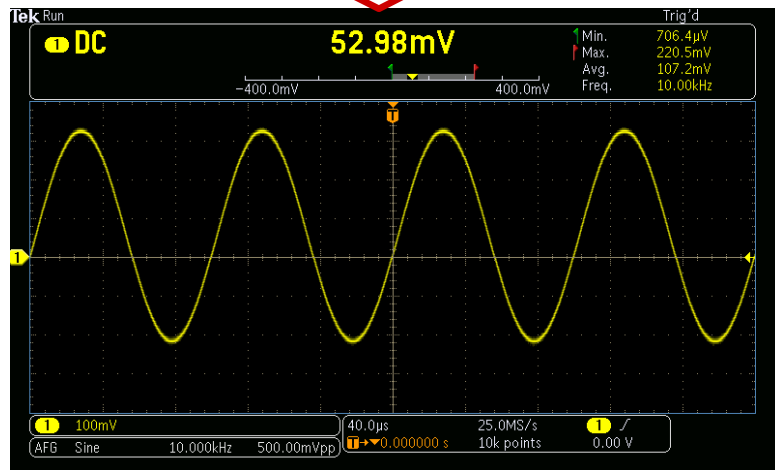
13 种内置波形

轻松产生或复制复杂波形

# 数字电压表(DVM)/频率计 电压及频率测试

无论示波器是在运行还是停止状态，都可以监测信号

- 4-位 AC RMS, DC, AC+DC RMS 电压测试
- 5-位频率测试
- 自动量程
- 图形化结果显示
  - 最小值
  - 最大值
  - 当前值
  - 5秒滚动量程值
- 利用示波器模拟通道+探头
- 只要注册，即可免费开启



观测主要信号于一瞥

# MDO3000 系列可定制混合域示波器



无限灵活

- 六合一
- 完全定制, 完全可升级
- 包含时域和频域

	MDO3104 MDO3102	MDO3054 MDO3052	MDO3034 MDO3032	MDO3024 MDO3022	MDO3014 MDO3012
带宽	1 GHz	500 MHz	350 MHz	200 MHz	100 MHz
模拟通道数	2 or 4				
模拟通道采样率	2.5 GS/s (3 or 4 ch) 5 GS/s (1 or 2 ch)	2.5 GS/s (All ch)			
记录长度	10 M				
波形刷新率	>280,000 wfms/s	>235,000 wfms/s			
频谱分析仪	标配: 9kHz 到示波器模拟带宽 可选: 9kHz to 3GHz				
数字通道	可选: 16 数字通道+ P6316 16-ch 逻辑探头 500 MS/s (2.5 ns 分辨率), 8.25 GS/s (121.2 ps 分辨率), 数字 MagniVu™				
AFG	可选: 1 通道输出, 13 中预置波形, 任意波形				

# MDO3000 中 5 项不得不提的创新能力

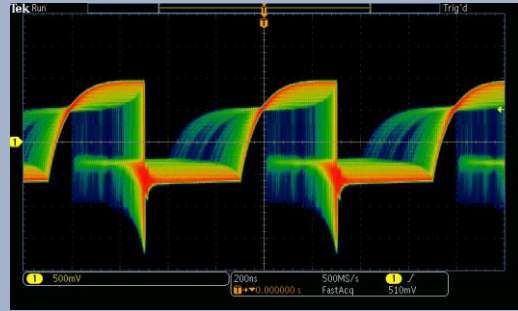
1. **业内最佳** 的测试工具, 在每一层面都有创新能力(示波器)
2. **业内最佳** 的探头, 具有最高的保真度 (示波器)
3. **业内唯一** 具有 3GHz 捕获带宽 (频谱仪)
4. **业内最快** 捕获并回放信号于一体 (AFG)
5. **业内最佳** 分析串行总线数据 (协议分析仪)



创新并不止于集成....

# 示波器

## 1. 在每一层面都有创新技术



### 新! FastAcq™ 捕获模式

数字荧光技术以每秒>280,000波形刷新率, 快速发现偶发的异常信号

发现

捕获

搜索

分析

快速发现偶发的异常信号

- >280,000 wfm/s 波形刷新率
- 色温表示信号重复出现的频率

第一时间捕获感兴趣的信号

- 最高性能的标配电压探头
- 125 多种组合触发方式
- 10M存储深度

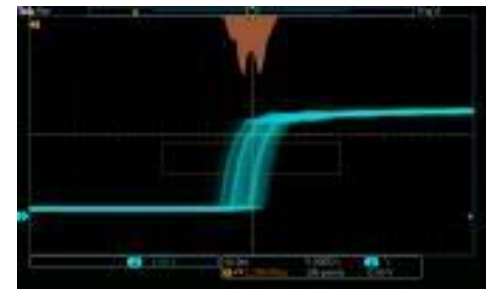
即时发现记录中感兴趣的事件

- 专利的Wave Inspector导航



快速发现问题的根源

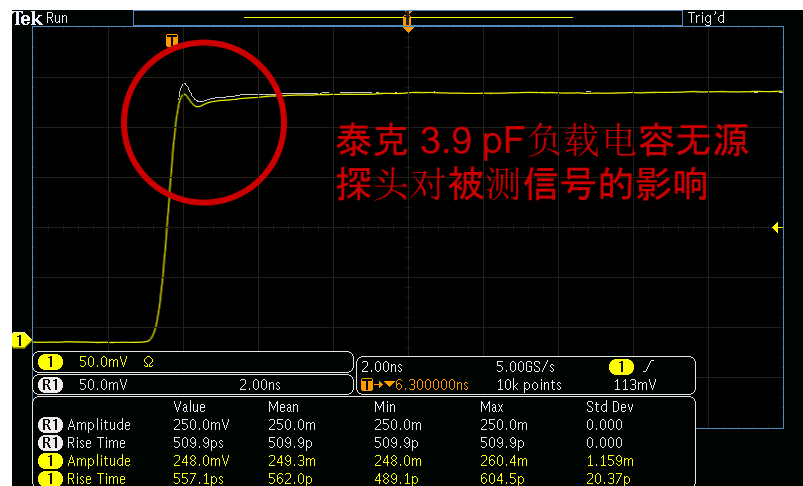
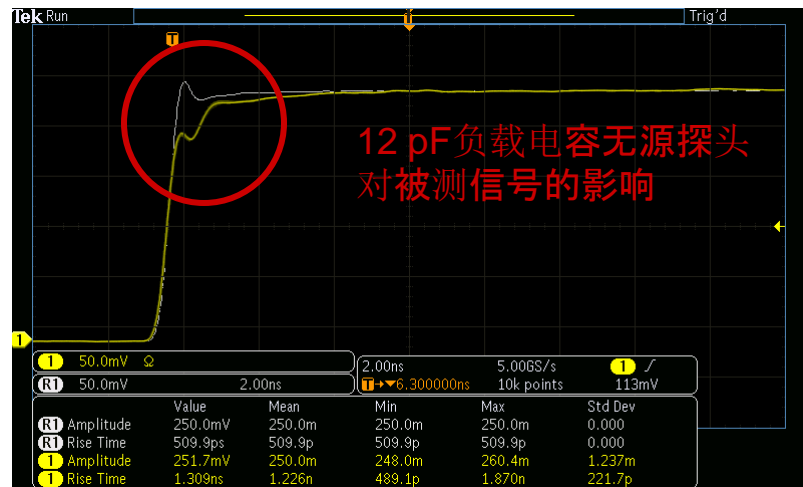
- 30 种自动测试
- 门限/模板测试以及功率分析
- 波形柱状图分析



# 示波器

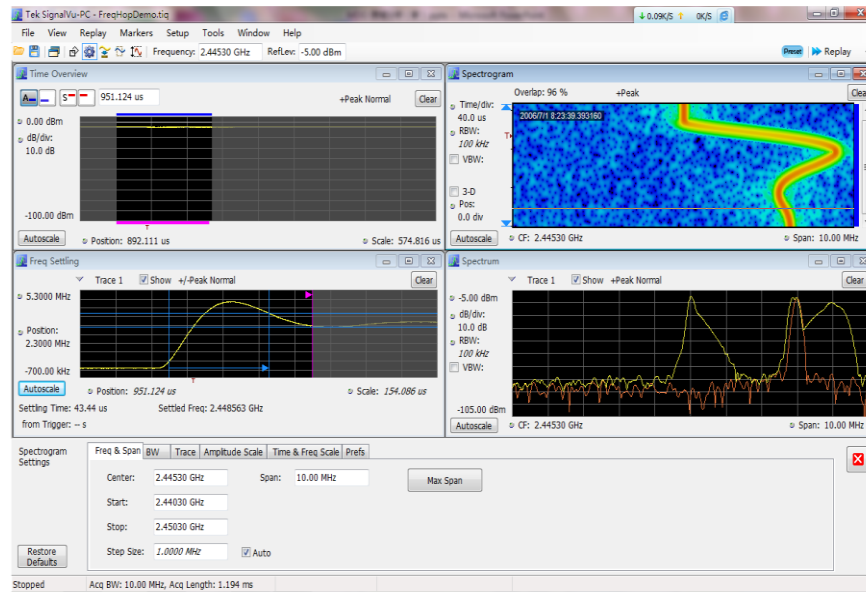
## 2. 具有有源探头特性的无源探头

- 业内最高性能的标配无源探头
  - 3.9 pF 负载电容
  - 1 GHz 带宽的仪器, 1 GHz 标配探头
- 高性能探头设计初衷
  - 对被测信号的影响降至最低
  - 精确地将被测信号送入仪器
- 高负载电容探头将使被测信号失真, 引起电路误动作



## 3. 具有最宽的分析带宽

- 传统频谱仪通常仅有10 MHz 分析带宽
  - 3GHz 全频段扫描速度慢
  - 没有IQ数据采集能力
    - 无法分析宽带数字调制信号
- 某些矢量信号分析仪分析带宽可达 160 MHz
  - 无法分析宽带数字调制信号



# 任意函数发生器

## 4. 捕获, 新编以及重放在单台仪器上实现

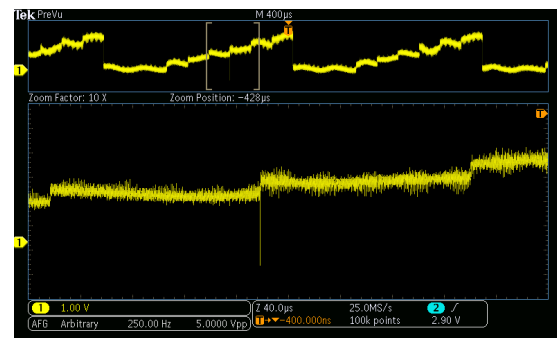
- 无需多台仪器



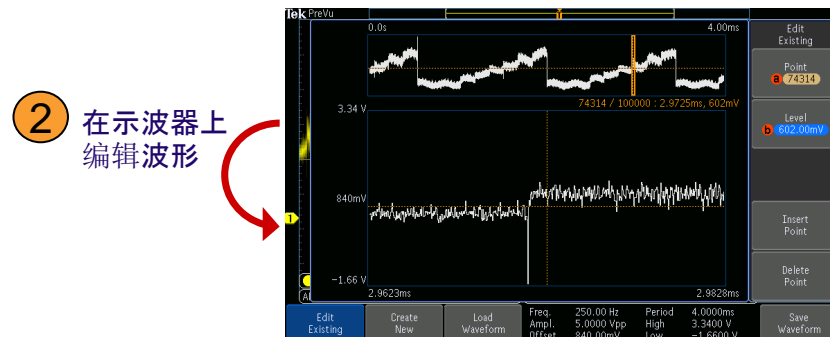
- 轻松实现重放

- 高性能 AFG

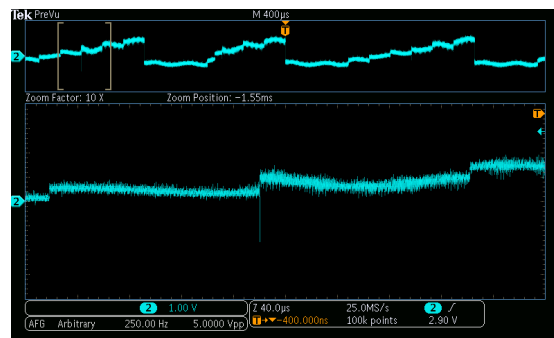
- 128k 内存
- 250 MS/s 采样率



1 调用示波器采集的波形



2 在示波器上编辑波形



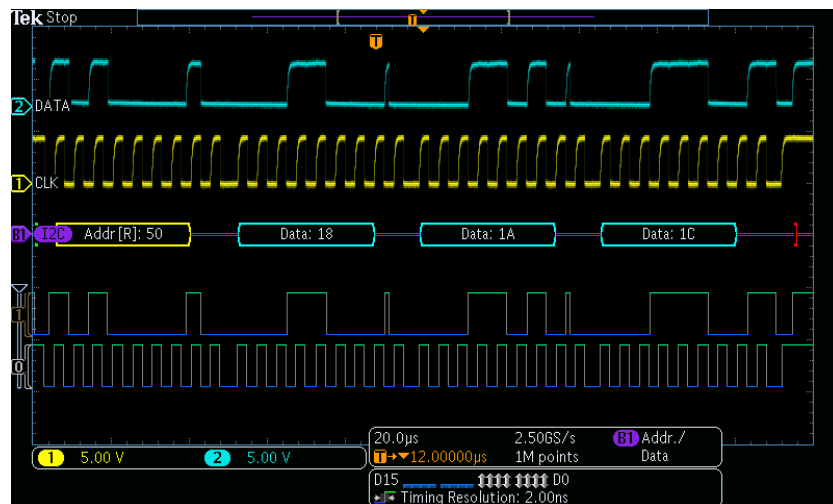
3 在AFG上回放波形

## 5. 加速串行数据调测

- 7年多以前，泰克公司首先在主流示波器上开创串行总线分析功能
  - 令人吃惊的是，我们走访的近 60% 的示波器用户竟然不知道他们的示波器具有这种功能
- MDO3000 串行总线触发、解码与搜索可以大大加快串行数据调测速度
- 最低价位 USB 解码方案

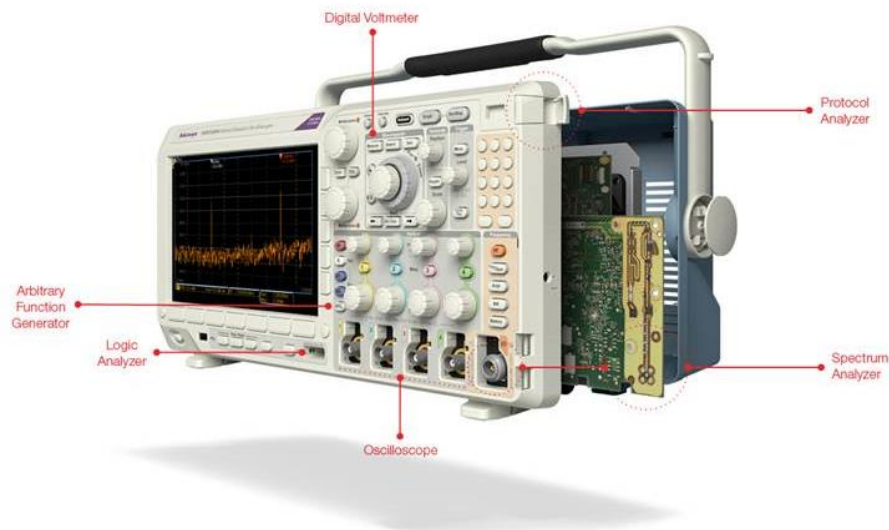
Serial Bus Standard	Percentage of Customers Debugging the Standard
I <sup>2</sup> C	57%
SPI	56%
CAN	71%
RS-232	71%
USB	40%

Source: Tektronix market research, 2013



# 泰克的技术创新使得多合一成为可能

- MDO3000带来的突破
  - 单台仪器包含时域与频域
  - 单台仪器包含全功能 AFG
  - 单台仪器中的各仪器间的交互
  - 单一、熟悉的操作界面
- MDO3000 专用 ASIC 芯片包括
  - 示波器 5 GS/s ADC
  - 逻辑分析仪 8.25 GS/s MagniVu 采样
  - 函数发生器 250 MS/s DAC
  - 频谱分析仪 3 GHz 采集带宽



示波器与频谱仪



逻辑分析仪、协议分析仪及DVM



任意函数发生器

9磅结构中集成度最高的示波器

# MDO4000B混合域相关分析的创新平台

# MDO4000B 混合域相关分析的创新平台



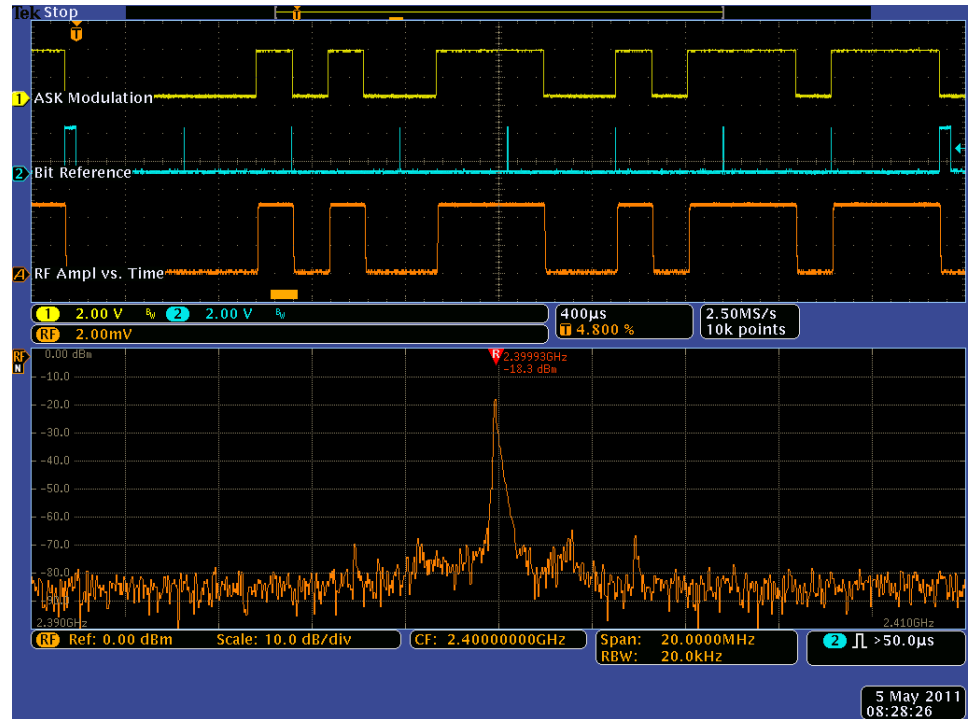
- 21个硬件通道
- 在一台仪器中查看时间相关的模拟信号、数字信号和RF信号
- 多达4种总线的解码

Model	Analog Channels	Analog Bandwidth	Digital Channels	RF Channels	RF Freq. Range
MDO4014B-3	4	100 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4034B-3	4	350 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4054B-3	4	500 MHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4054B-6	4	500 MHz	16	1	9 kHz – 6 GHz
MDO4104B-3	4	1 GHz	16	1	9 kHz – 3 GHz
MDO4104B-6	4	1 GHz	16	1	9 kHz – 6 GHz

# 混合域分析能为数字射频系统调测带来什么？

## ■ 数字射频系统需求

- 高效
  - 提高控制效率
  - 提高编程效率
- 同步
  - 保障各模块间同步工作
- 查找潜在问题
  - 噪声源
  - 锁相环
  - EMI

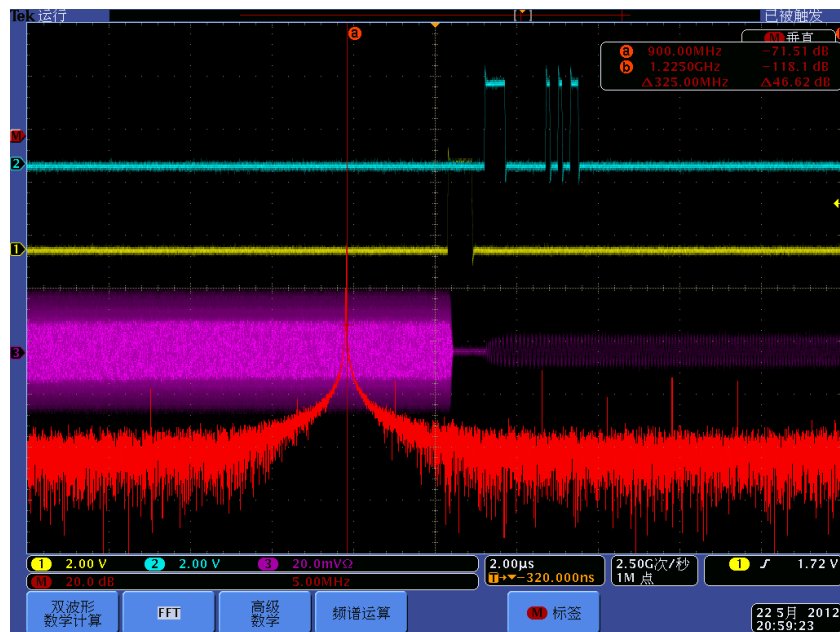


## ■ 混合域分析可以分析

- 控制信号与射频信号的时序关系以提高控制效率
- 总线信号与射频信号的时序关系以提高编程效率
- 电压、电流变化对射频信号的影响查找潜在问题
- 发现数字射频系统锁相环潜在问题
- 确定板内 EMI 与时域信号的关系避免潜在问题的发生
- .....

# 如何进行混合域分析？

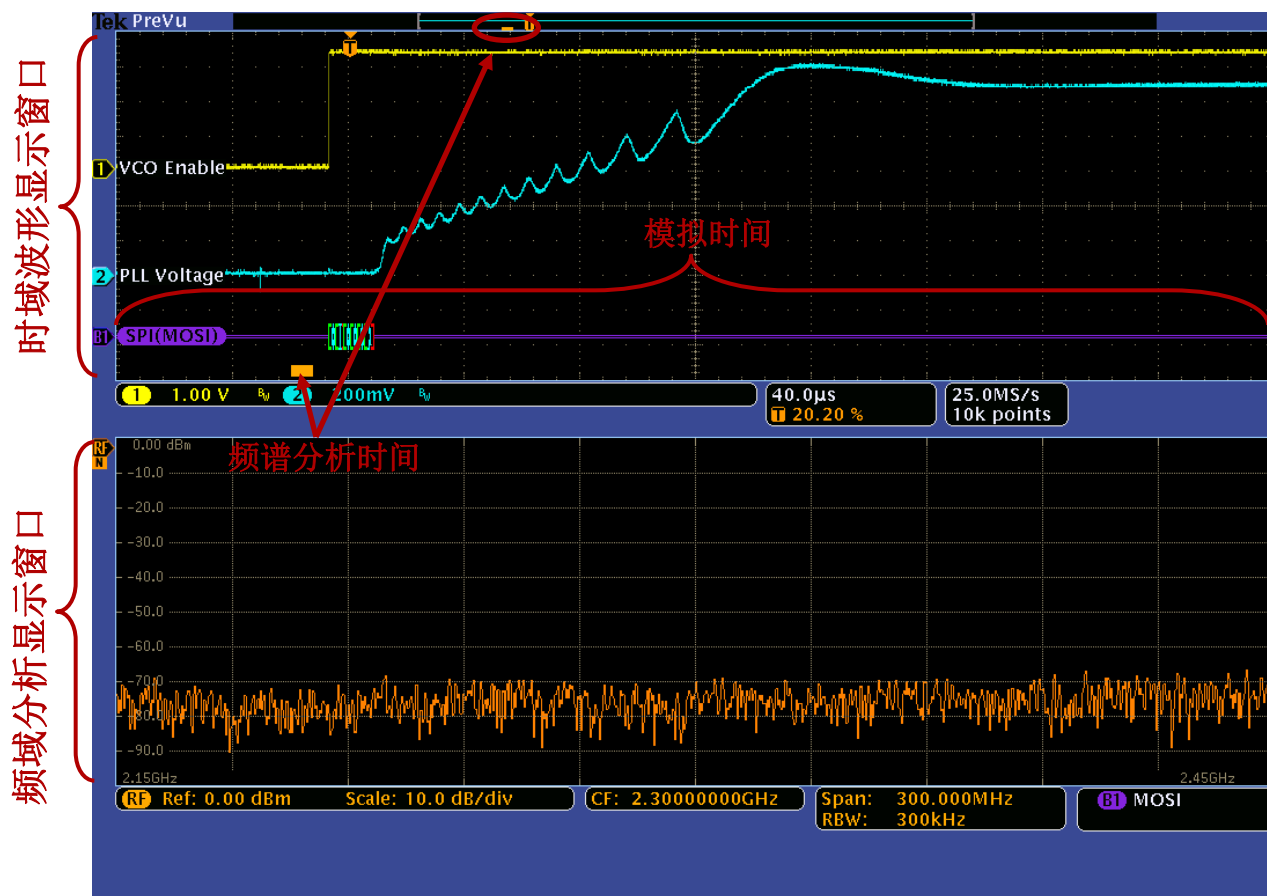
- 频谱仪/矢量信号分析仪/实时频谱分析仪单独无法完成
- 示波器牺牲一个通道用作射频通道可以进行混合域分析
  - 将射频信号接入某通道后进行FFT运算，其它通道接控制信号
  - 受示波器带宽限制
  - 受示波器动态范围限制
  - 示波器FFT频谱是全时间样点频谱，无某时刻频谱信息
  - 对变化的信号，FFT可能有误
- 频谱仪+示波器
  - 完成混合信号与射频信号独立分析
  - 示波器与频谱仪之间时钟不同步
  - 示波器与频谱仪之间触发不同步
  - 无法进行时间相关的混合域分析
- 混合域分析的基本配置
  - MDO4000B



# 时间相关的混合域显示

## 通过频谱分析时间观测

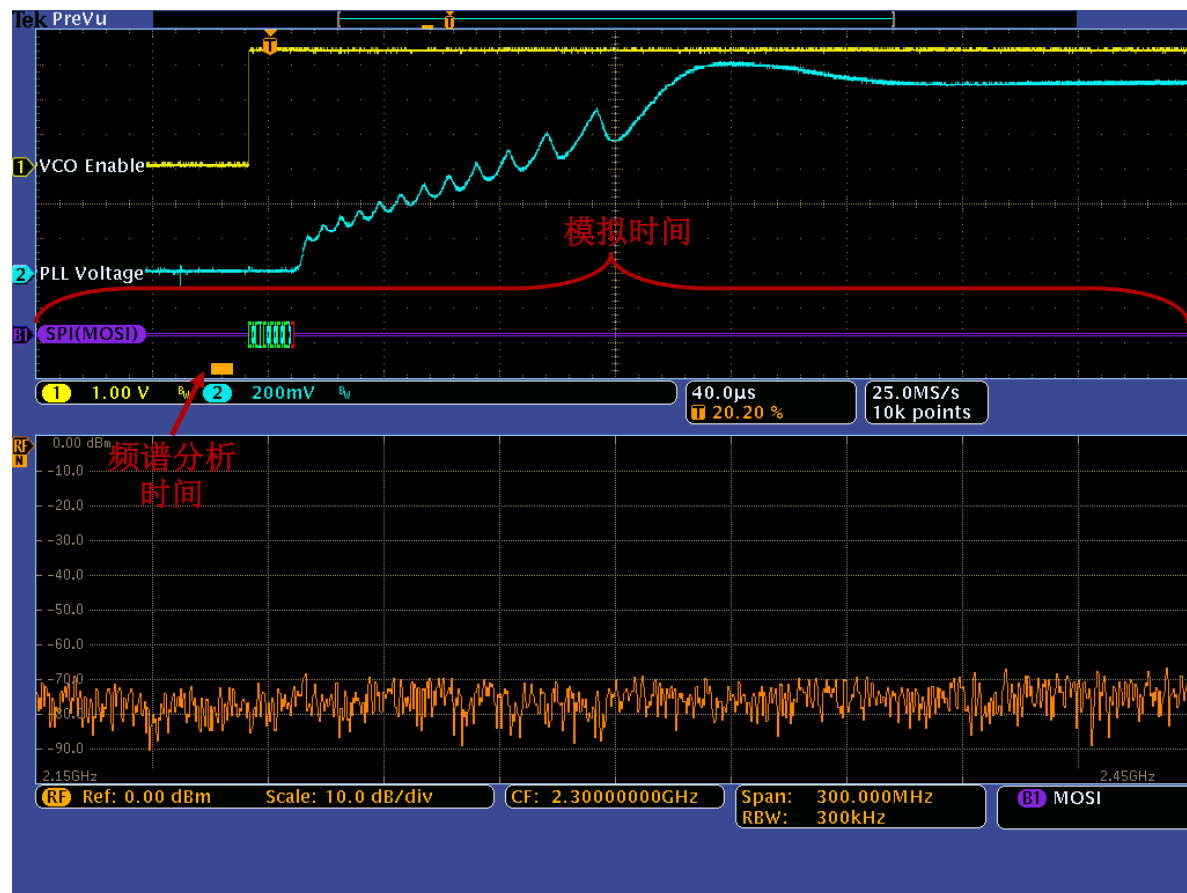
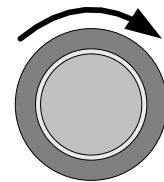
- 当时域和频域信号同时显示时，频谱总是通过触发捕获得到的，在时间上与整个时域波形相关
- 橘黄色的横条指明了频谱来自于什么时刻
- 橘黄色横条被称作 **频谱分析时间**
  - 请注意在全部波形简略图上也有相应标记
- 时域波形的时间称作 **模拟时间**
  - 通过水平刻度旋钮调节



# 时间相关的混合域显示

## 通过频谱分析时间观测

- 频谱分析时间 = 窗口参数 / 分辨率带宽RBW
  - 在本例中: 频谱分析时间 =  $2.23 / 300,000 = 7.4\mu\text{s}$
- 频谱分析时间可以使用Wave Inspector Pan（波形导航平移工具）控制，沿模拟时间移动
- 用户可以在一次采集后观测整个过程的频域变化
- 如屏幕显示：
  - 我们捕获了VCO/PLL启动过程
  - SPI 总线信号命令设定VCO频率值
- 让我们看看频谱分析时间沿模拟时间移动时会发生什么



# 时间相关的混合域显示

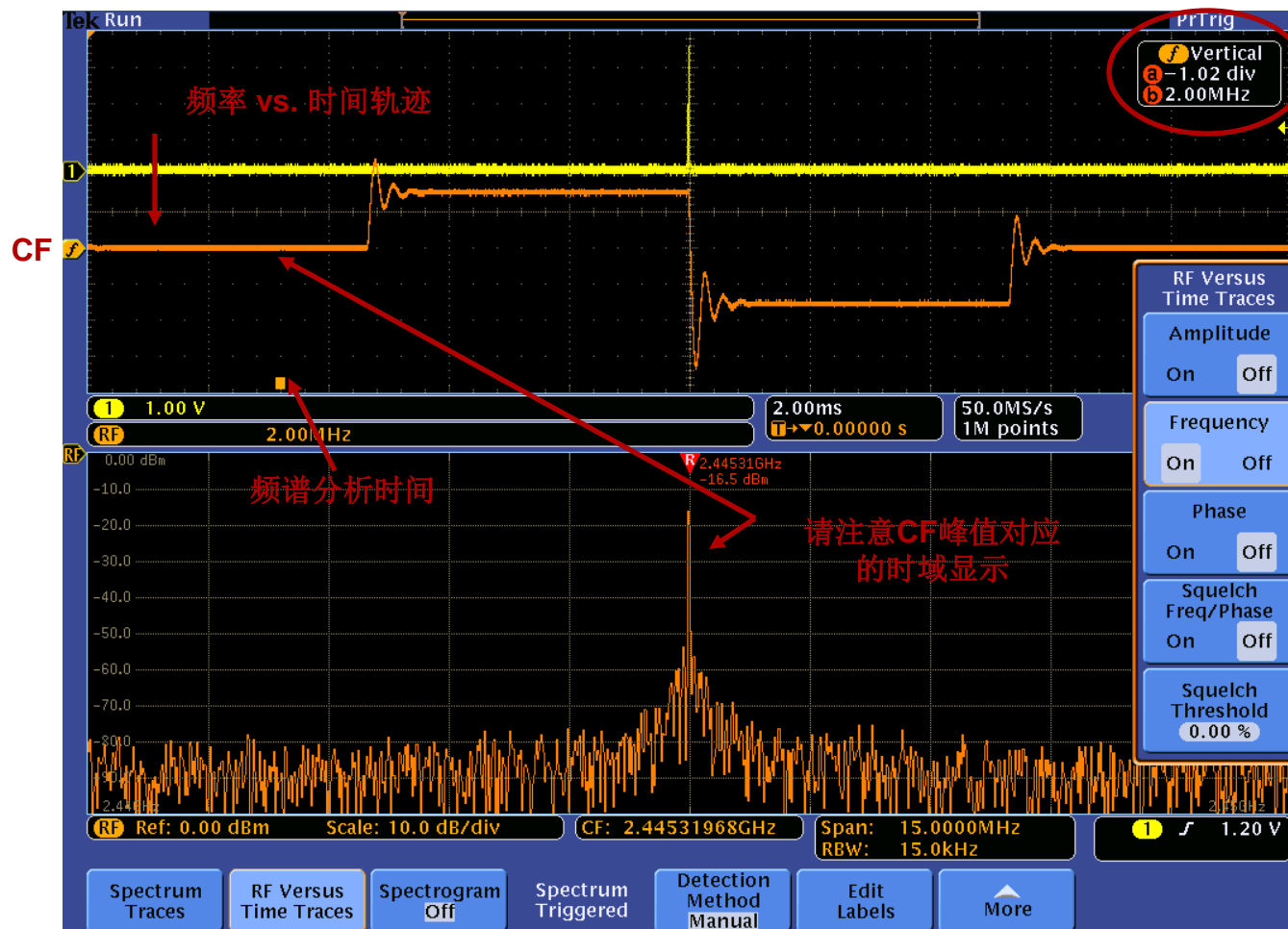
## RF vs 时域轨迹(频率随时间的变化)

- 数字下变频过程产生IQ信号，用于生成幅度、频率、相位相对于时间的轨迹，显示在时域窗口

时频轨迹的比例和位置控制

- 时频轨迹显示调频信号的运行情况

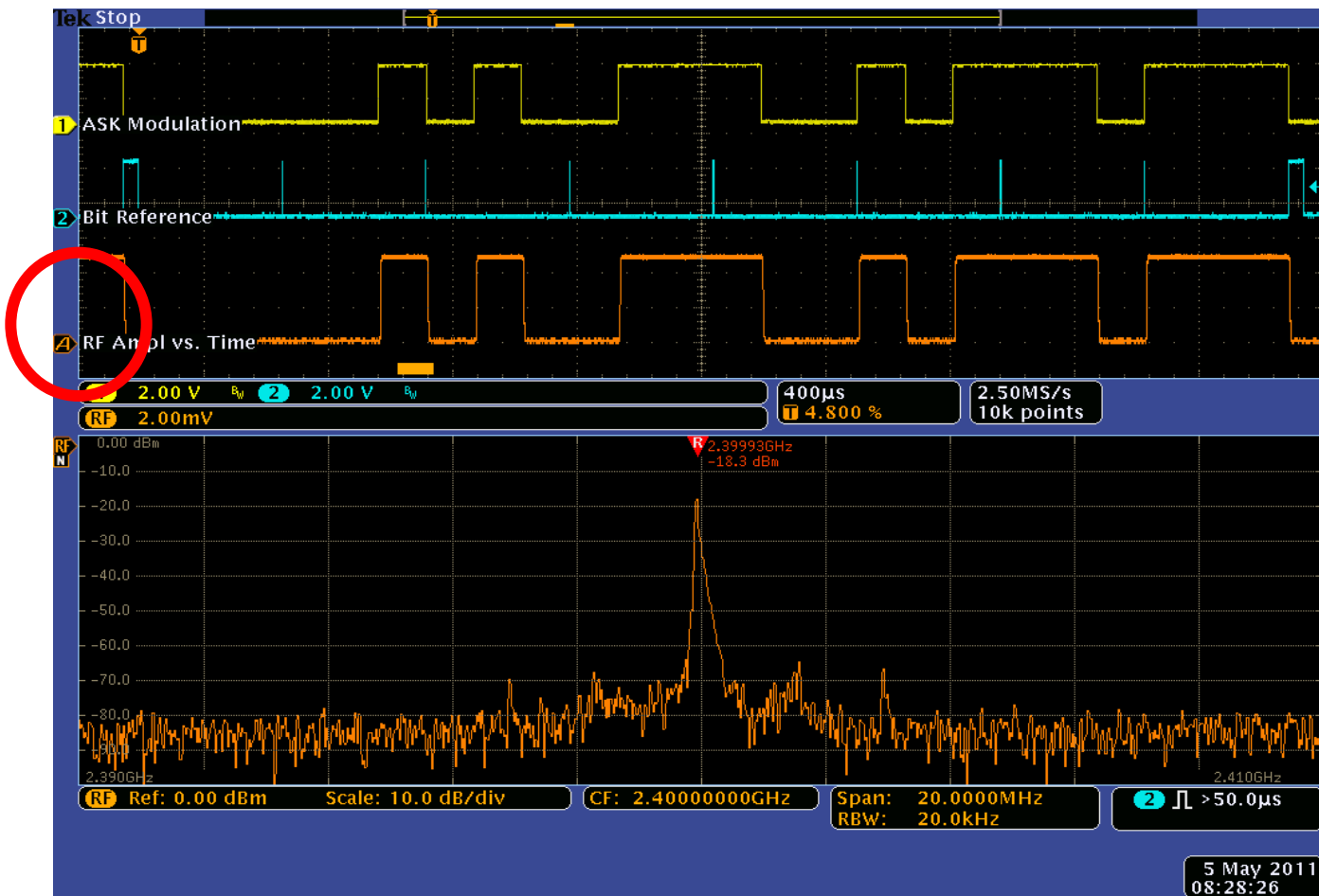
- 时频轨迹的标示位于中心频率处
  - 当轨迹在标示之上代表 频率 > CF
  - 当轨迹在标示之下代表 频率 < CF



# 时间相关的混合域显示

## RF vs 时域轨迹(幅度随时间的变化)

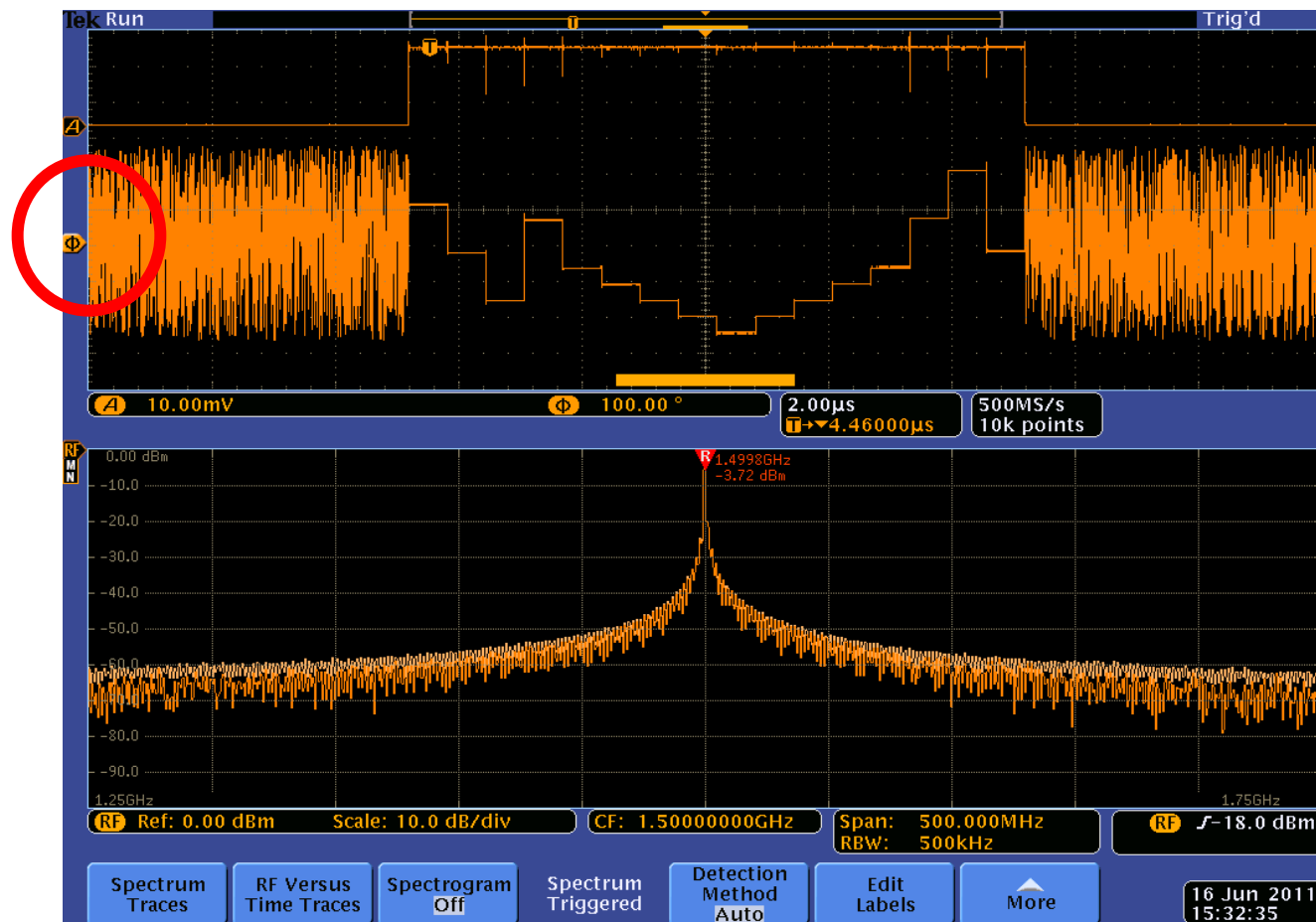
- 数字下变频过程产生IQ信号，用于生成幅度、频率、相位相对于时间的轨迹，显示在时域窗口
- 可以观察射频信号以及其在时域幅度随时间变化的轨迹



# 时间相关的混合域显示

## RF vs 时域轨迹(相位随时间的变化)

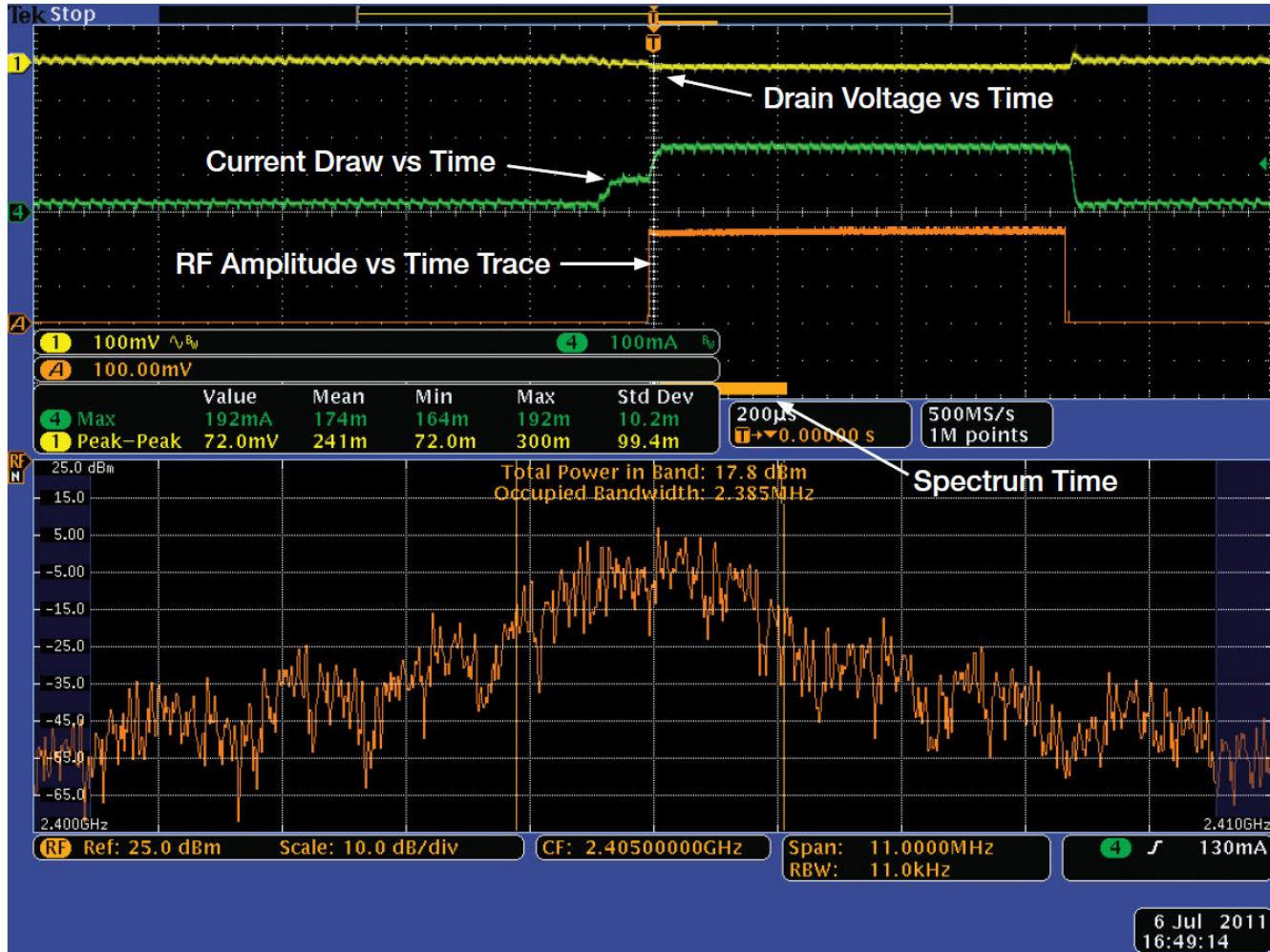
- 数字下变频过程产生IQ信号，用于生成幅度、频率、相位相对于时间的轨迹，显示在时域窗口
- 可以观察射频信号以及其在时域相位随时间变化的轨迹



# 时域和频域：RF信号幅度vs时间曲线

典型的ZIGBEE的系统分析：

频谱测量了信道功率和占用带宽参数，而RF信号的AvsT曲线，表示在时间上发射机发射信号的脉冲幅度变化



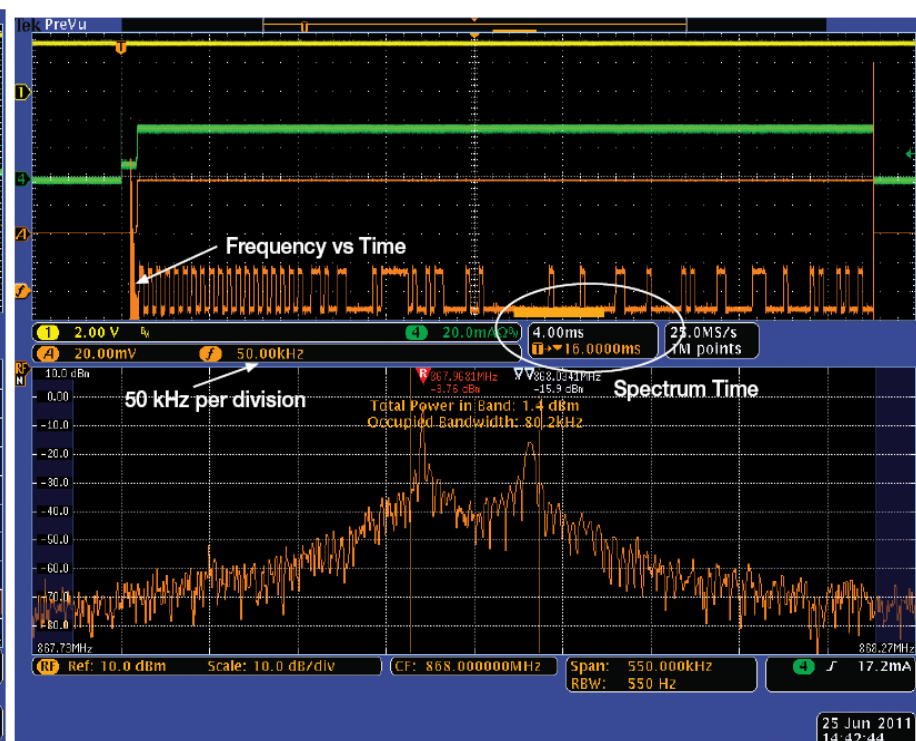
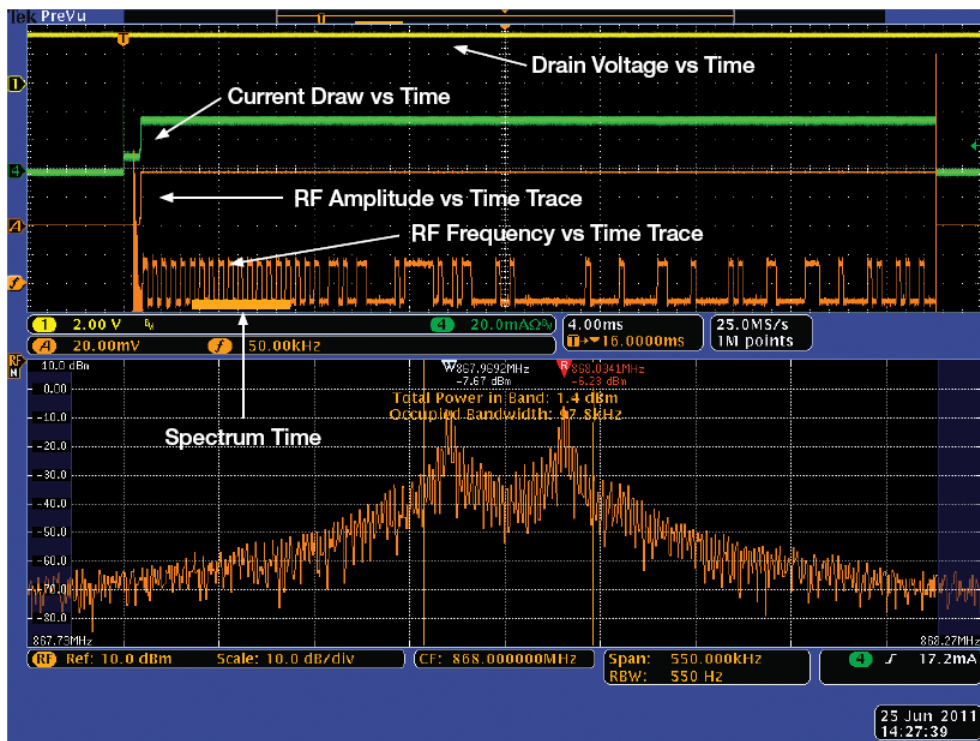
- CH1=电压，CH2=电流
- 测量了射频的功率和OBW

- 射频功率的变化和供电电源的时间相关分析
- 能清晰的分析功率变化和电流变化的关联性

# 时域和频域： RF信号频率vs时间曲线

典型的ZIGBEE的系统分析：

FvsT轨迹表示RF信号的频率变化，显示了FSK调制规律

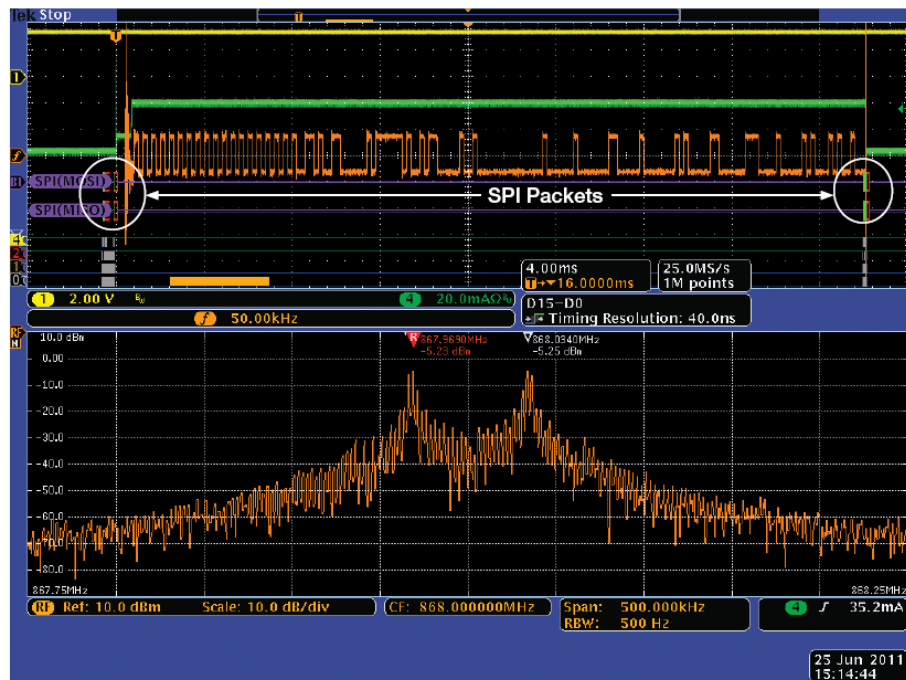


频谱分析时间对应了射频的参数结果

频谱分析时间移动到后面数据包传输时刻

# SPI总线命令与RF信号频谱

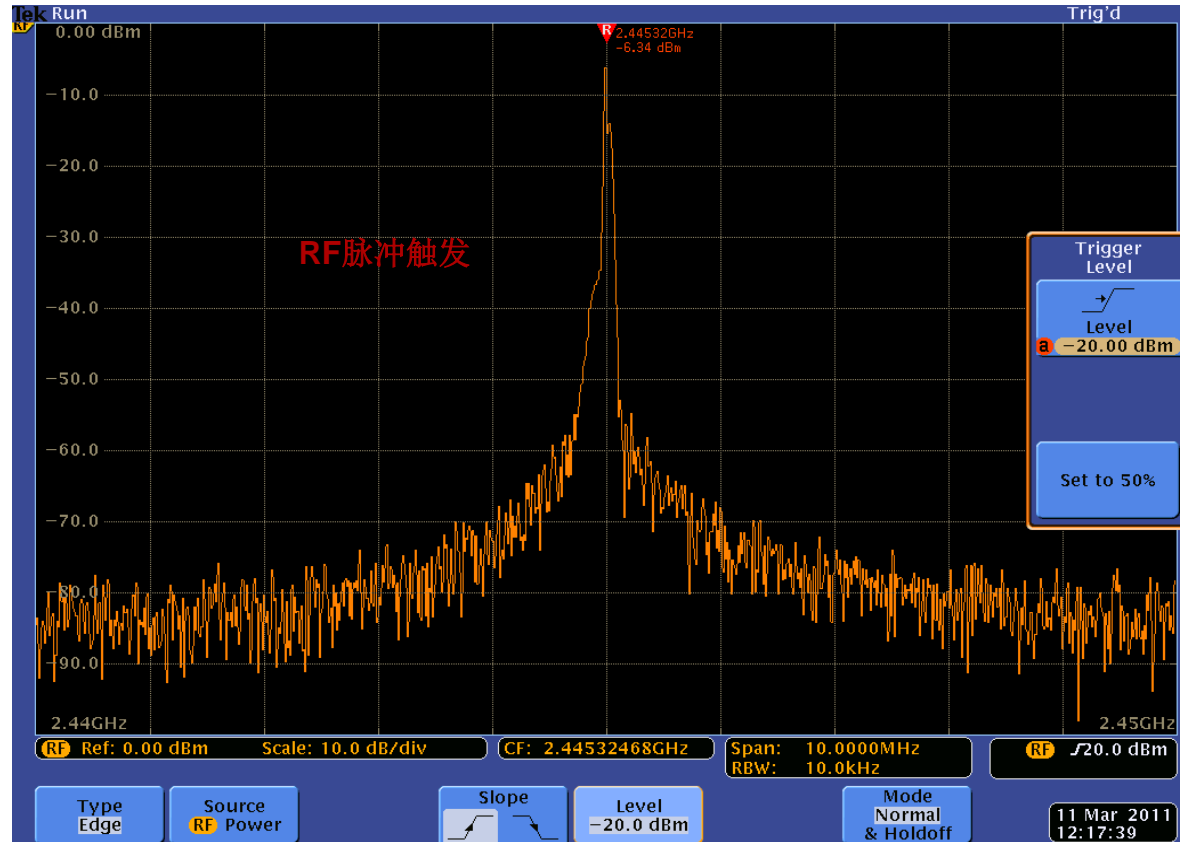
典型的ZIGBEE的系统分析:控制信号及协议的系统分析



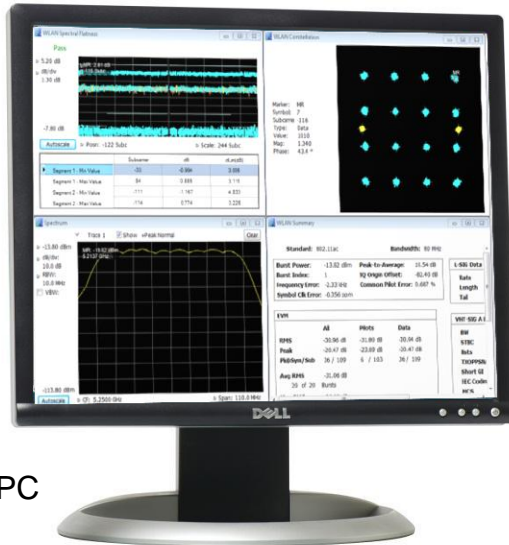
使用MOSI总线数据触发，查看频率随时间变化曲线

# 时间相关的混合域显示---触发

- 不论来自哪个源，MDO4000的所有触发都是全局性的
  - 这意味着模拟、数字和RF采集都通过同一触发事件触发
- MDO4000拥有一个RF功率电平检波器，它连接到触发系统
  - 测量整个频段的所有RF功率，不仅仅是当前的分析范围
- MDO4000标配：
  - RF Power 边沿触发功能
- MDO4TRIG 应用模块提供RF功率信号作为触发源的高级触发功能：
  - Pulse Width
  - Timeout
  - Runt
  - Logic
  - Sequence



# MDO4000B + SignalVu-PC 矢量信号分析软件



SignalVu-PC

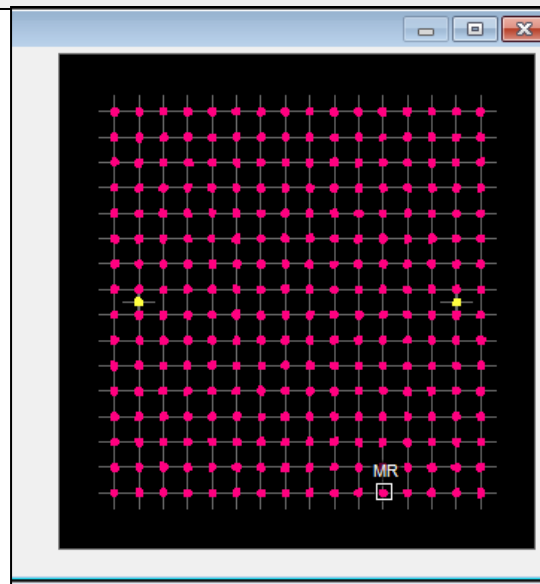
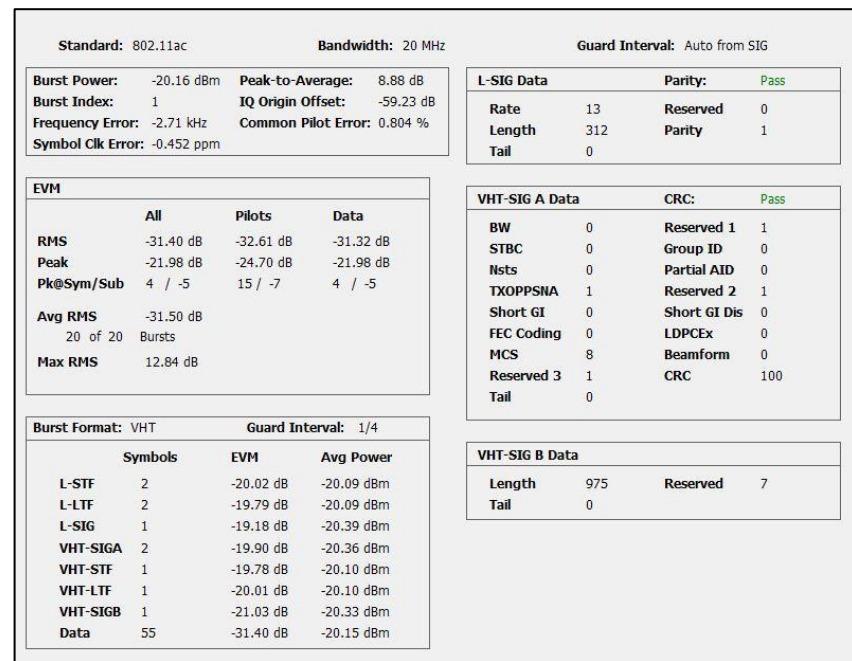


## ■ 构成业内最宽采集带宽的矢量信号分析仪

- 时间相关的频率, 相位, 幅度, 调制分析
- 提供附加分析功能
  - RF I&Q, 杂散, ACPR, MCPR, OBW, CCDF
  - AM/FM/PM 调制及音频分析
  - 频率及相位设置时间测试
  - 脉冲分析
  - 通用调制分析 (单载波及OFDM)

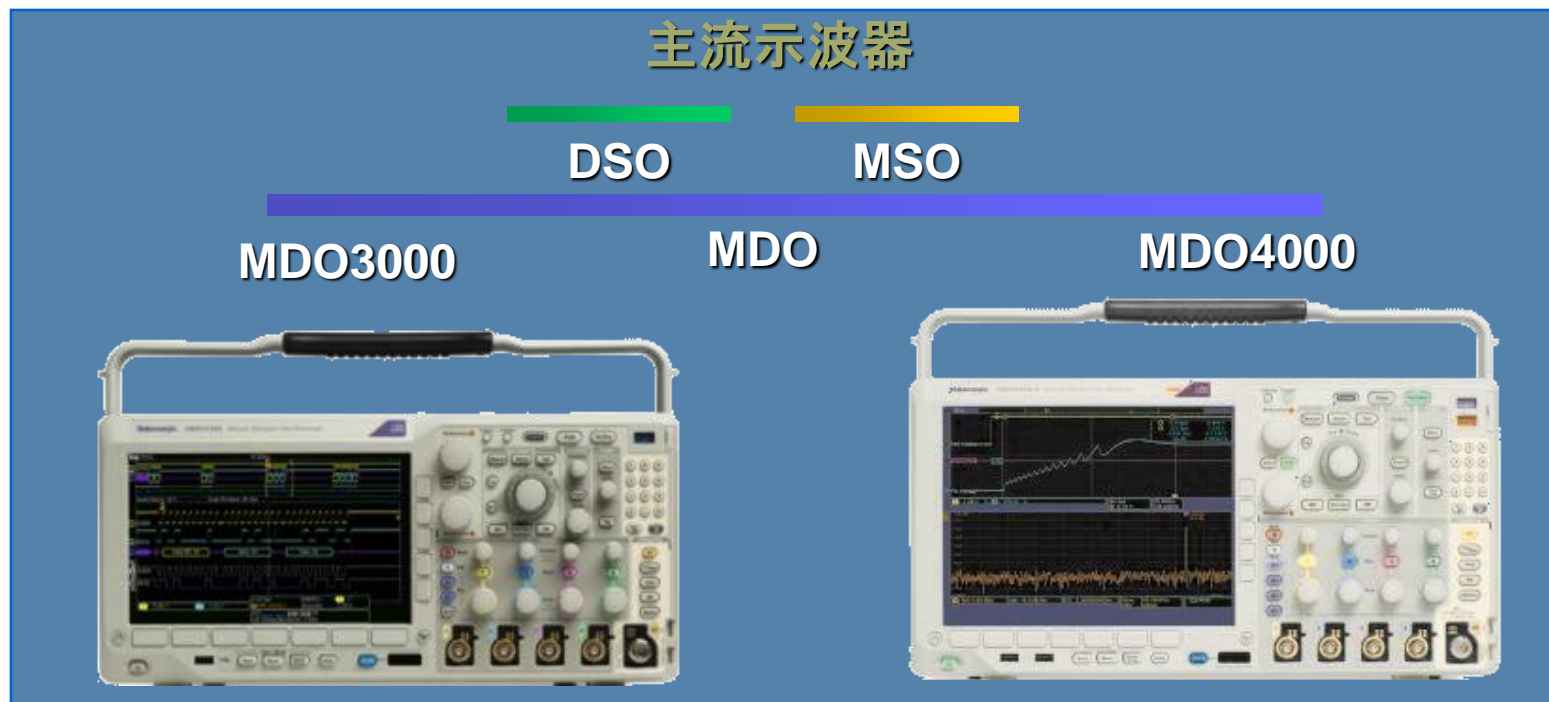
# 新! SignalVu-PC WLAN 发射机测试

- SignalVu-PC 选件支持 Wi-Fi (IEEE 802.11a/b/g/n/ac)
  - 最高 256QAM, 160MHz 分析带宽, 针对 802.11ac
  - 提供完备的标准测试
    - EVM, SEM, frequency error, symbol clock error
  - 显示关键的调制域及射频测试结果
  - 解码 WLAN 字头信息帮助调测
  - 支持 MDO4000B, RSA 和示波器



# MDO 成为主流

# 你所熟悉的主流示波器时代已经终结



- MDO 成为主流
  - 适应混合域分析的时代潮流
  - 在泰克3000 及4000 系列示波器中将没有MSO型号
    - 100 MHz 到 1 GHz 带宽
    - 3 GHz 到 6 GHz 射频频段
    - 16 种 MDO 型号

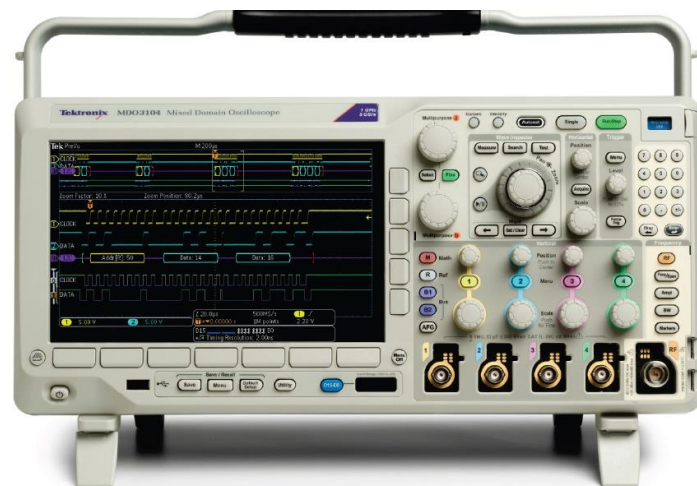
# MDO3000/4000B的产品特点及配置

## MDO3000标配:

- 示波器
- 频谱仪 (带宽)
- 数字电压表

## 选件, 可随时升级:

- 任意波、函数信号源
- 逻辑分析仪
- 协议分析仪(2)
- 3GHz频谱仪

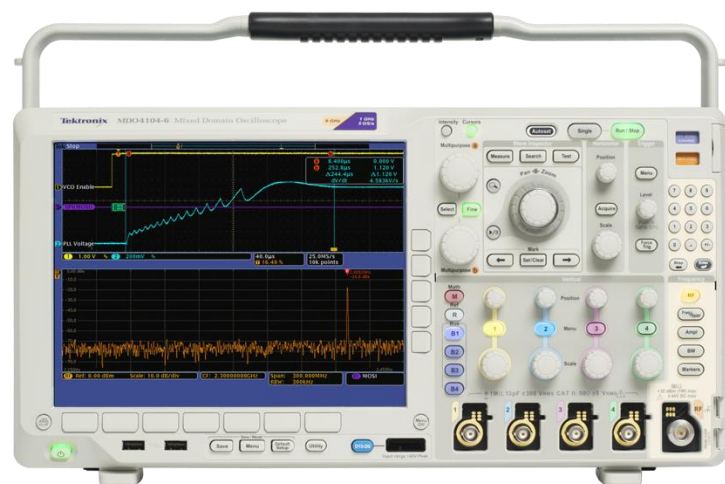


## MDO4000B标配:

- 示波器
- 频谱仪 (3/6GHz)
- 逻辑分析仪
- 宽带、调制分析

## 选件, 可随时升级:

- 协议分析仪(4)
- WIFI解调和分析

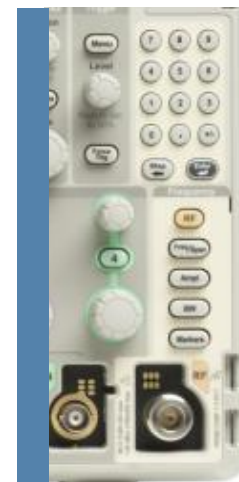
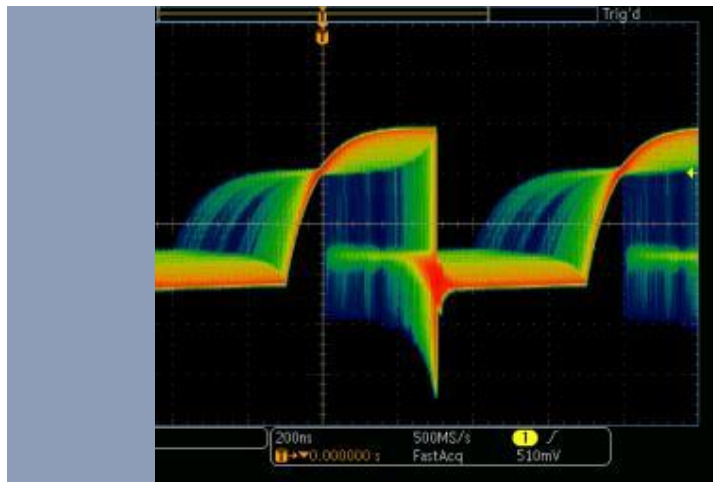


# MDO3000和MDO4000B的产品比较

RF Specifications	MDO3000	MDO4000B	
Frequency Range	9 kHz – 3 GHz	9 kHz – 6 GHz	
Capture Bandwidth	3 GHz max.	3.75 GHz max.	
Phase Noise at 1 GHz CF	10 kHz offset 100 kHz offset 1 MHz offset	-81 dBc/Hz, -85 dBc/Hz (typical) -97 dBc/Hz, -101 dBc/Hz (typical) -118 dBc/Hz, -122 dBc/Hz (typical)	-108 dBc/Hz, -111 dBc/Hz (typical) -110 dBc/Hz, -113 dBc/Hz (typical) -120 dBc/Hz, -123 dBc/Hz (typical)
Displayed Average Noise Level (DANL)	9 kHz – 50 kHz 50 kHz – 5 MHz 5 MHz - 400 MHz 400 MHz – 2 GHz 2 GHz – 3 GHz 3 GHz – 4 GHz 4 GHz – 6 GHz	-109 dBm/Hz , -113 dBm/Hz (typical) -128 dBm/Hz , -132 dBm/Hz (typical) -138 dBm/Hz , -142 dBm/Hz (typical) -138 dBm/Hz , -142 dBm/Hz (typical) -130 dBm/Hz , -134 dBm/Hz (typical) -- --	-116 dBm/Hz , -120 dBm/Hz (typical) -130 dBm/Hz , -134 dBm/Hz (typical) -146 dBm/Hz , -148 dBm/Hz (typical) -147 dBm/Hz , -149 dBm/Hz (typical) -147 dBm/Hz , -149 dBm/Hz (typical) -148 dBm/Hz , -152 dBm/Hz (typical) -140 dBm/Hz , -144 dBm/Hz (typical)
2nd Harmonic Distortion at 1 GHz	-55 dBc, -60 dBc (typical)	-60 dBc, -65 dBc (typical)	
3rd Order Intermodulation Distortion at 1 GHz	-55 dBc, -60 dBc (typical)	-62dBc, -65 dBc (typical)	
Residual Response	-78 dBm w/ exceptions to -67 dBm	-85 dBm w/ exceptions to -78 dBm	
Max Input Power (average continuous power)	+20 dBm (0.1W)	+30 dBm (1W)	
View Time and Frequency Domains Simultaneously	--	Std.	
Time Correlation Between Domains	--	Std.	
RF vs. Time Traces (Amplitude, Frequency, Phase)	--	Std.	
RF Power Level Triggering	--	Std.	
Export of .TIQ files for SignalVu-PC / MATLAB	Std.	Std.	
LiveLink w/ SignalVu-PC	--	Opt.	

# 混合域分析时代已经到来

— 您MDO了吗



MD03000 — 泰克最新推出的可定制的混合域示波器  
MD04000B 混合域相关分析的创新平台

