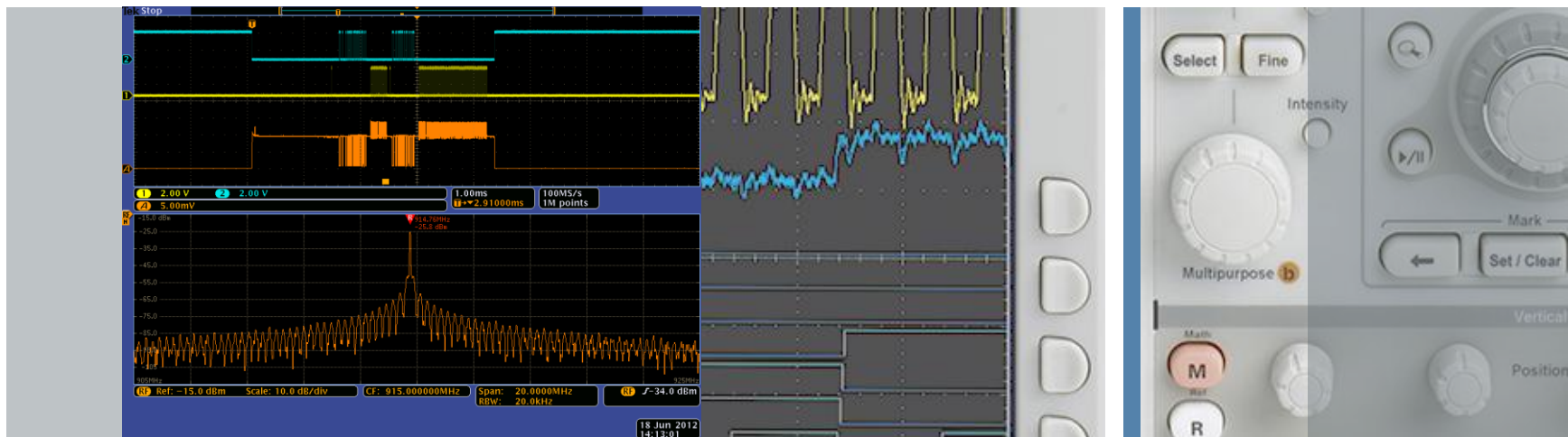


# 高性价比EMI诊断测试



孙勇

泰克公司射频业务开拓经理

13501124062

Yong.sun@tek.com



**Tektronix**<sup>®</sup>

# 演讲者简介

## ■ 孙勇

- 泰克科技（中国）有限公司
  - 分销产品行业渠道开发经理
- 毕业于清华大学无线电系
- 十几年来一直从事测试仪器的研发与推广工作
- 泰克2001年杰出市场冠军奖获得者
- 自2005年起一直从事泰克无线测试产品推广工作，在无线电监测集干扰测试领域卓有成就，著有《利用NetTek解决移动通信网络干扰问题》发表于《中国无线电管理》
- 成功推广了泰克创新的MDO混合域分析仪
- 现负责泰克RF产品的推广工作

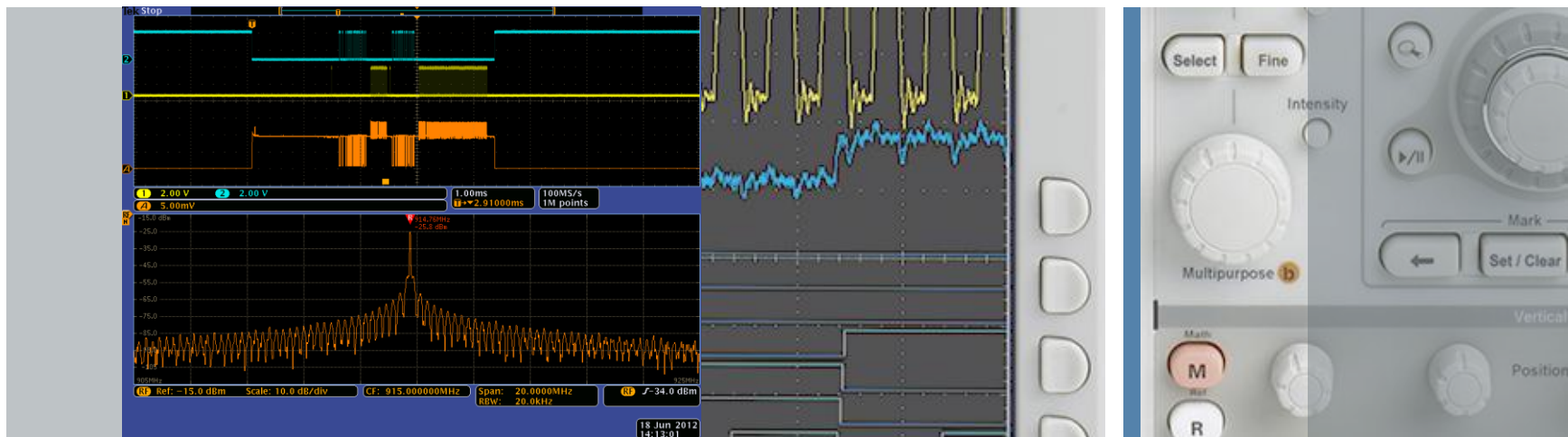


# 概述

- EMI/EMC定义
  - 发射辐射和传导辐射
  - 预认证测试与认证测试
  - 基本配置
- 预认证扫描
  - 仪器结构
  - 基于FFT的频谱分析
  - 可视化和速度
- 调试EMI问题
  - 把EMI与其他信号和事件关联起来
  - 测量RF功率
  - 近场和远场
- 小结

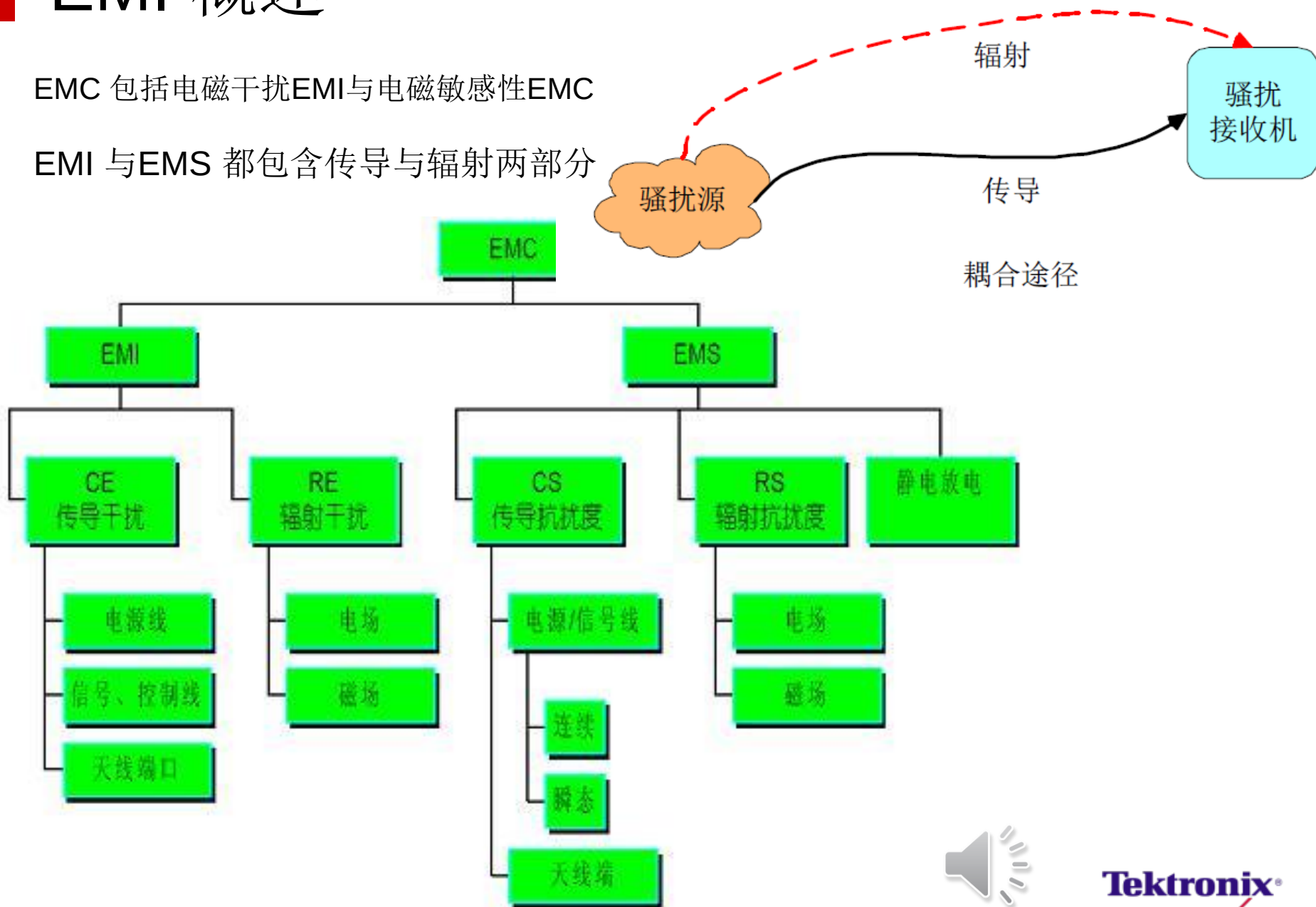


# EMI 概述



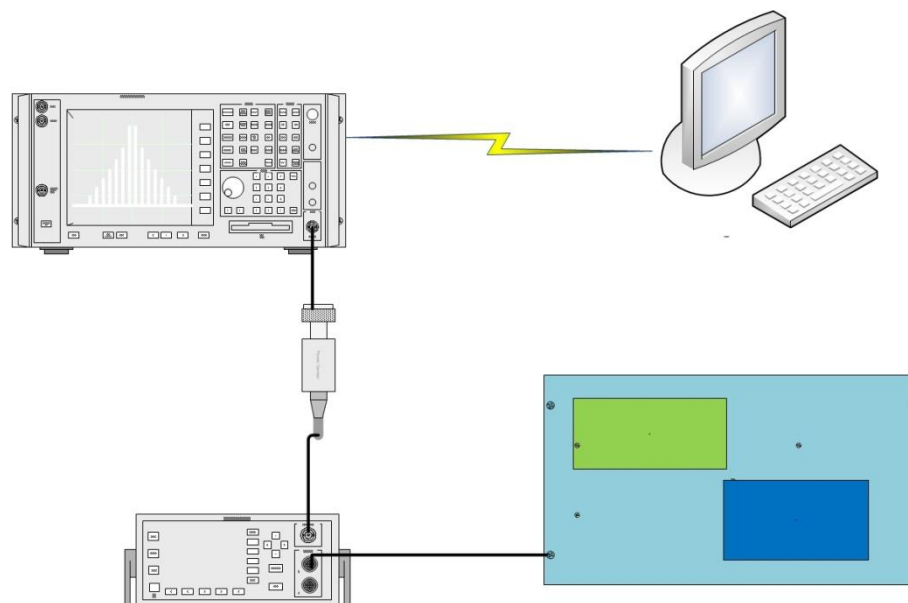
# EMI 概述

- EMC 包括电磁干扰EMI与电磁敏感性EMC
- EMI 与EMS 都包含传导与辐射两部分



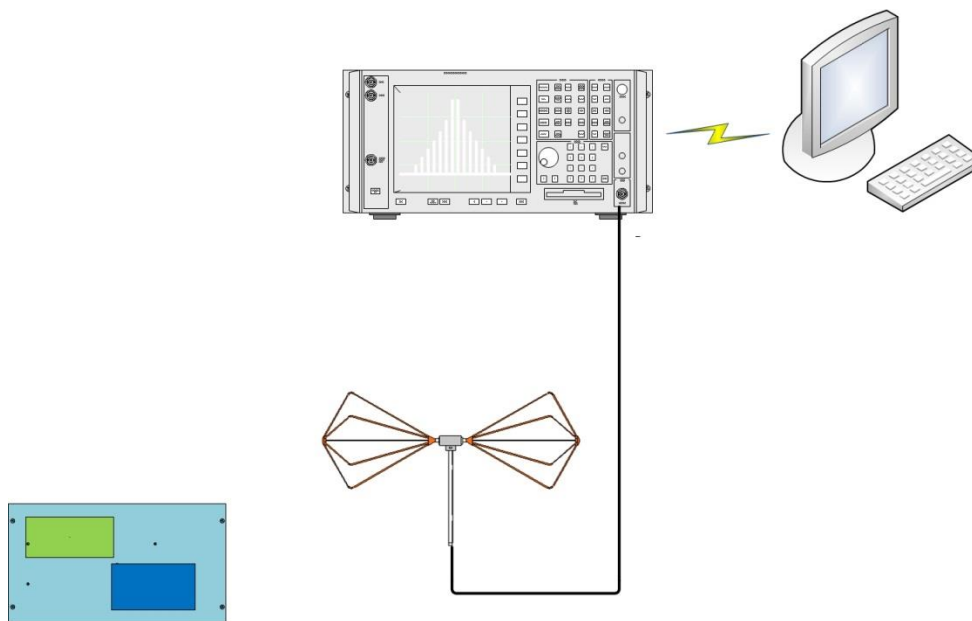
# 传导辐射测量

- EMI接收机
  - CISPR 16-1-1
- 软件
- 人工电源网络(LISN)
  - 把DUT与市电隔开
- 限定装置
  - 仪器前端保护



# 发射辐射测量

- EMI接收机
  - CISPR 16-1-1
- EMI软件
- RF隔离
  - 经检定的消声室
  - 露天测试站点
- 转台
- 天线



检定DUT周围 360° 的辐射



# EMI检定

## ■ 认证测量 → 测试机构

- 通常用来免去内部机构建制费
- 成本高昂
- 耗时长
- 会报告EMI测试失败，但不会报告怎么解决问题！

## ■ 预认证测量 → 内部

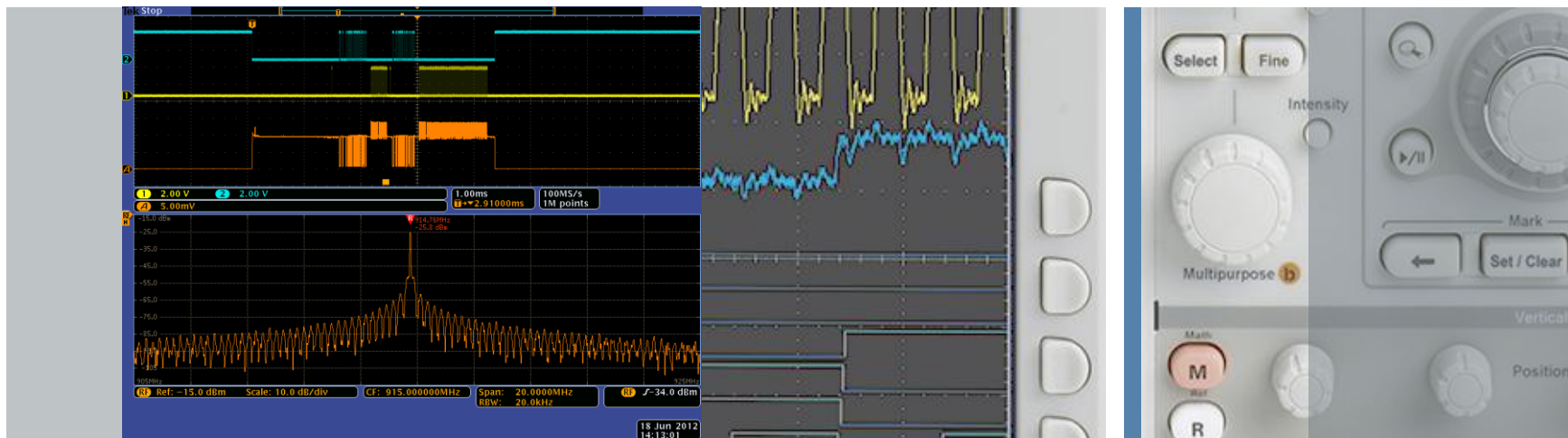
- 测试整个设计流程中的EMI问题
- 在变成大问题、引发巨大成本前，提前找到问题
- 您仍需要到EMI测试机构
- 节约产品开发周期时间

EMI预认证测试可以提前确定问题，  
以防其变成昂贵的重新设计问题，节约时间/资金





# 预认证扫描



**Tektronix**<sup>®</sup>

# EMI预认证扫描核对清单

- 测试舱还是测试站点?
  - 会议室
  - 车库
  - 露天?
- 传导辐射/发射辐射要求
  - 天线
  - 预放
  - LISN和限定装置
  - 三脚架
- 用频谱分析仪代替EMI接收机
  - RBW
  - 轨迹点
  - 驻留时间
  - 检测器
  - 天线因素
  - 环境校正

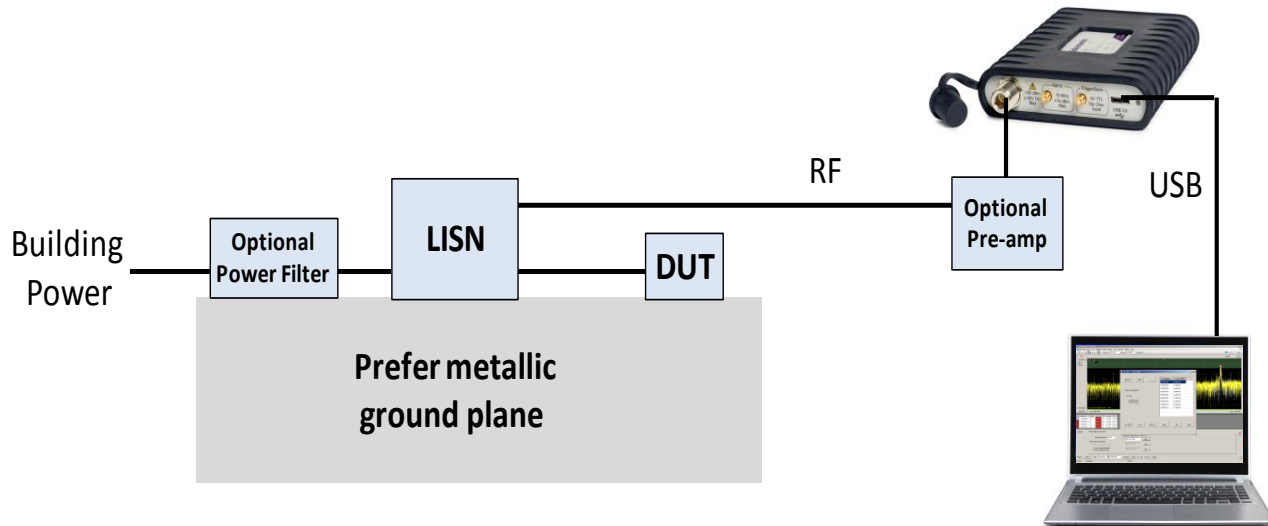
很难重现EMI实验室条件!

- 我们将进行准确模拟
- 我们需要了解设备中的变量



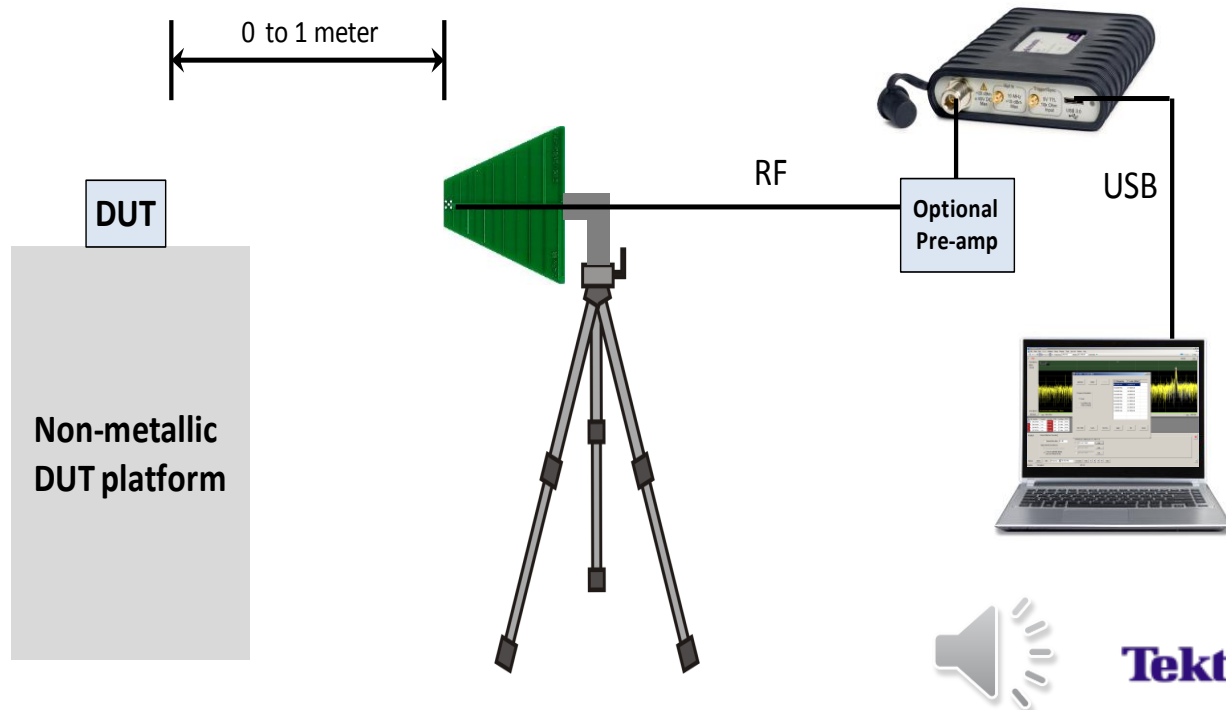
# 设置传导辐射预认证测试

- 采用可以接地的金属表面
- 人工电源网络
- 可能要求预放
- 可能要求限定装置
- 确认仪器能够支持增益/损耗校正



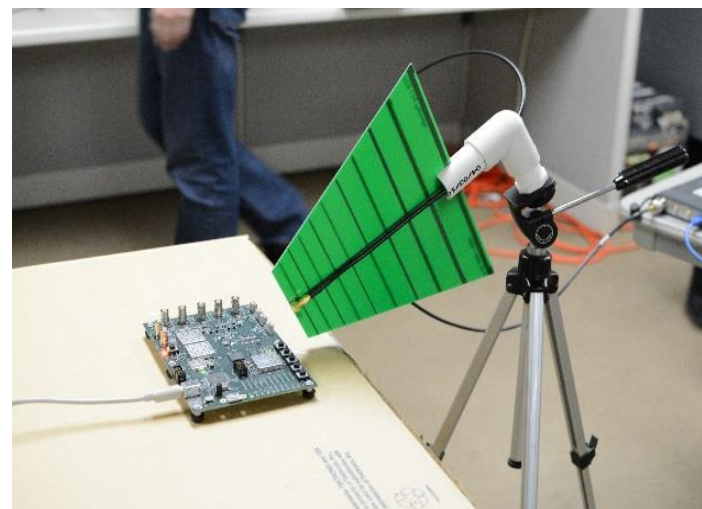
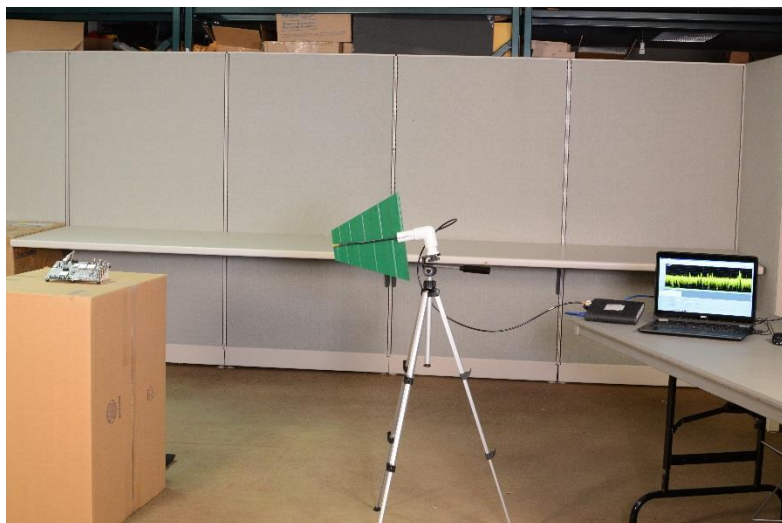
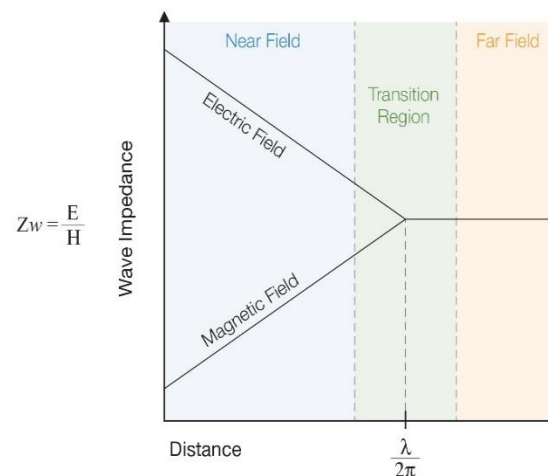
# 设置发射辐射预认证测试

- 确定有自然RF屏蔽的区域
  - 地下室
  - 车库
- 观察DAS
  - 用来帮助实现蜂窝覆盖
- DUT非金属平台
- 我们需要查看DUT周围360度区域
- 选配三脚架/预放，但推荐使用



# 设置发射辐射预认证测试

- 为各种频率范围提供低价天线解决方案
- 需要支持天线增益/损耗
- 确定近场测量还是远场测量



# 我需要EMI接收机吗？

- EMI接收机是专为频谱扫描设计的

- RBW

- 形状

- 带宽

- 检测器

- 峰值

- 均值

- 准峰值

| Frequency Range                       | Bandwidth (6 dB)   | Reference BW |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|
| 9 kHz to 150 kHz<br>(Band A)          | 100 Hz to 300 Hz   | 200 Hz       |
| 0.15 MHz to 30 MHz<br>(Band B)        | 8 kHz to 10 kHz    | 9 kHz        |
| 30 MHz to 1000 MHz<br>(Bands C and D) | 100 kHz to 500 kHz | 120 kHz      |
| 1 GHz to 18 GHz<br>(Band E)           | 300 kHz to 2 MHz   | 1 MHz        |

Table 1. Measurement Bandwidth versus Frequency specified by CISPR 16-1-1.

| Frequency Range | Bandwidth (6 dB)     |
|-----------------|----------------------|
| 10 Hz-20 kHz    | 10, 100, and 1000 Hz |
| 10-150 kHz      | 1 and 10 kHz         |
| 150 kHz-30 MHz  | 1 and 10 kHz         |
| 30 MHz-1 GHz    | 10 and 100 kHz       |
| 1-40 GHz        | 0.1, 1.0 and 10 MHz  |

Table 2. Bandwidths versus frequency specified for peak, average and RMS detectors by ANSI C63.2.

- 预先选择RF调谐阶段

- 用户规定每步驻留时间

- CISPR 16-1-1中的详细要求

对预认证测试，我们不一定使用专用接收机

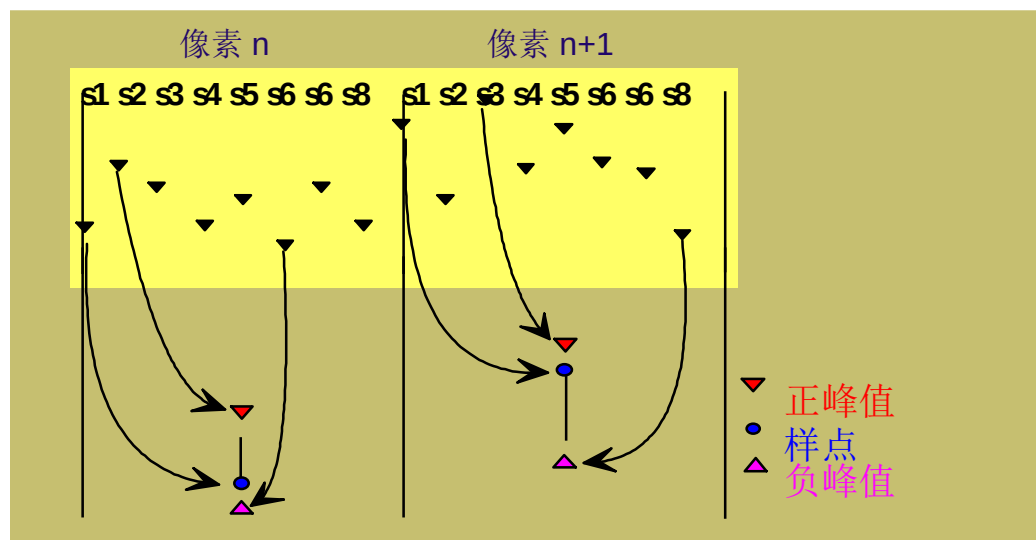
- 我们将进行准确模拟
- 了解测量中的折衷因素



# 频谱分析仪扫描速度

## ■ EMI检测器类型

- EMI峰值(或峰值)
  - 最坏情况
  - 最安全的检测器
- EMI平均值
  - 包括驻留时间
  - 通常~100ms
- EMI准峰值
  - 包括驻留时间
  - ~1秒
  - 扫描时间非常长



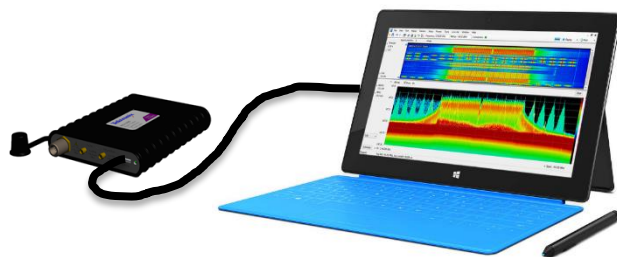
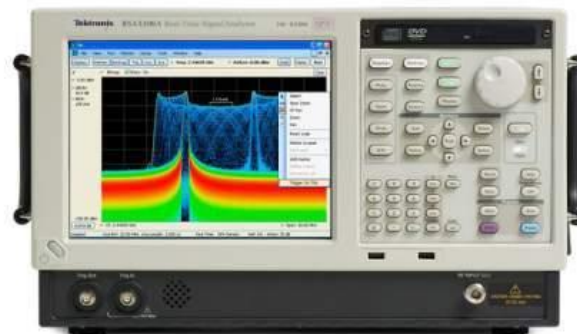
## ■ 滤波器形状因数

- EMI RBW选择性更大
- 在-6dB点测得的带宽



# 选择合适的频谱分析仪进行EMI测试

- 从实现方式分
  - 扫频频谱分析仪
  - 数字频谱分析仪
- 从体积与供电分
  - 台式频谱分析仪
  - 便携式频谱分析仪
    - 可以电池供电
  - USB 频谱分析仪
- 从指标与价格分
  - 高端频谱分析仪
  - 中端频谱分析仪
  - 低端频谱分析仪





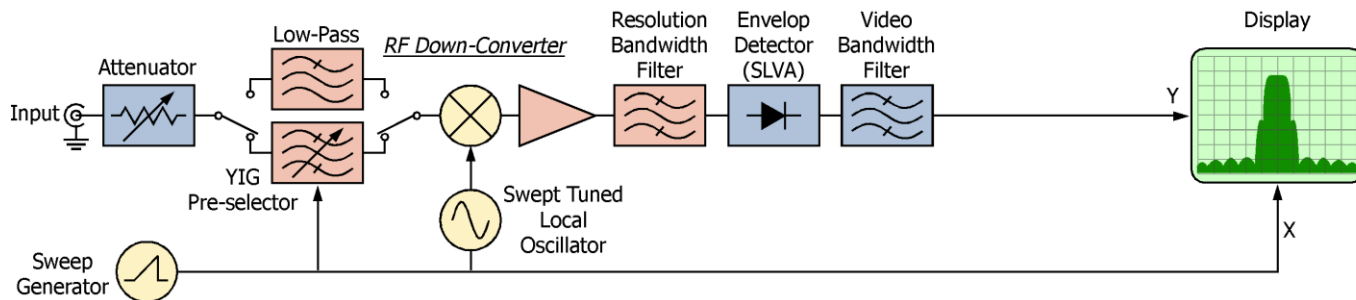
# 实时发现

- 信号发现能力 – 100% POI指标
  - POI 侦听概率 (probability of identification)
  - 侦测仪以100% POI 侦听信号所需被测信号驻留时间
- 扫频频谱仪的POI由扫描时间决定
  - 在某跨度下理论上的扫描时间为  $t = K * (\text{SPAN} / \text{RBW}^2)$ 
    - K为中频因子, 通常 $>2.5$
    - 20M跨度, RBW=10KHz时, 扫描时间最小为 250 毫秒
    - 某些便携式频谱仪达秒级
    - 100% POI 时间很长, 无法侦测瞬变信号
- FFT为基础的分析仪则是由其帧处理速度来决定这一指标
  - $0.1 \leq K \leq 1$
  - 20M 跨度下, 100% POI指标也要达到数十毫秒
- 需要一种新技术提高测试仪器的 POI 指标

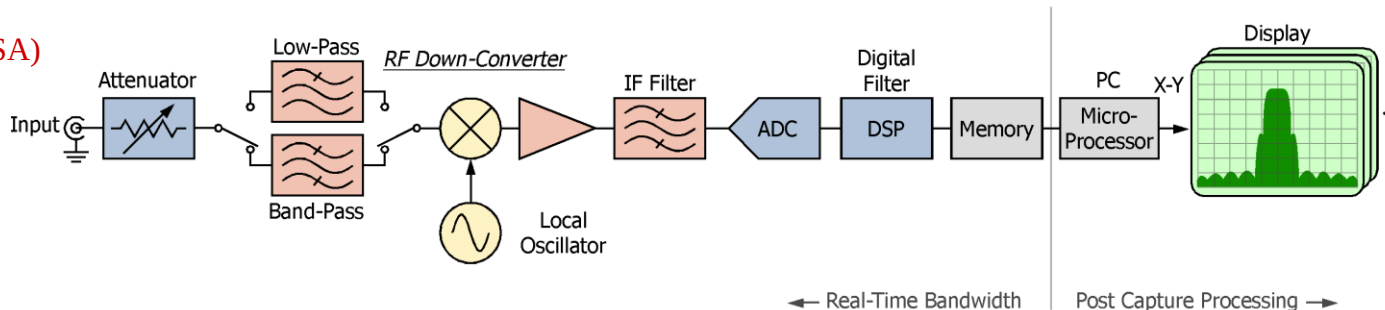


# 射频接收机发展历程

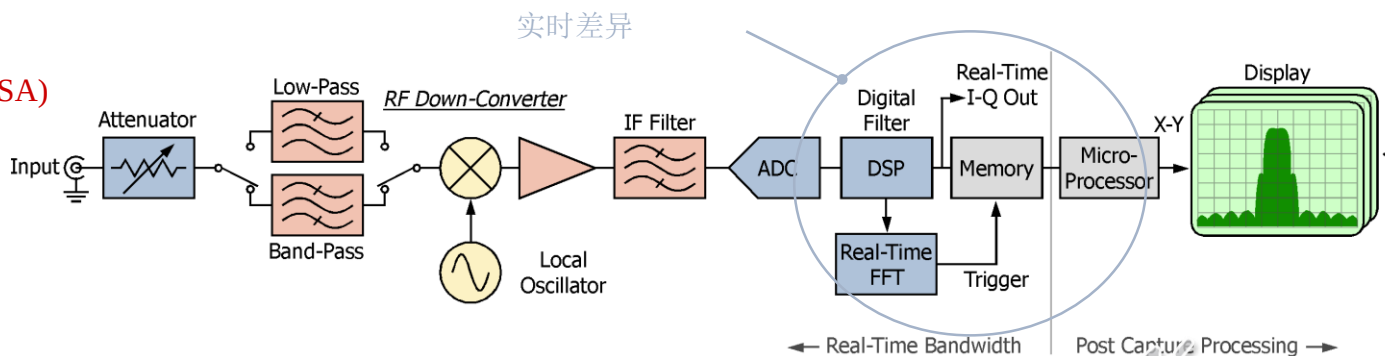
扫频分析仪 (SA)



矢量信号分析仪 (VSA)



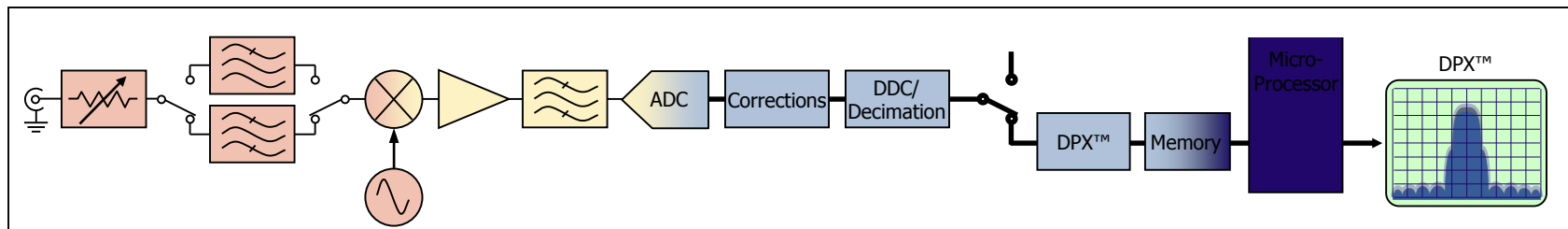
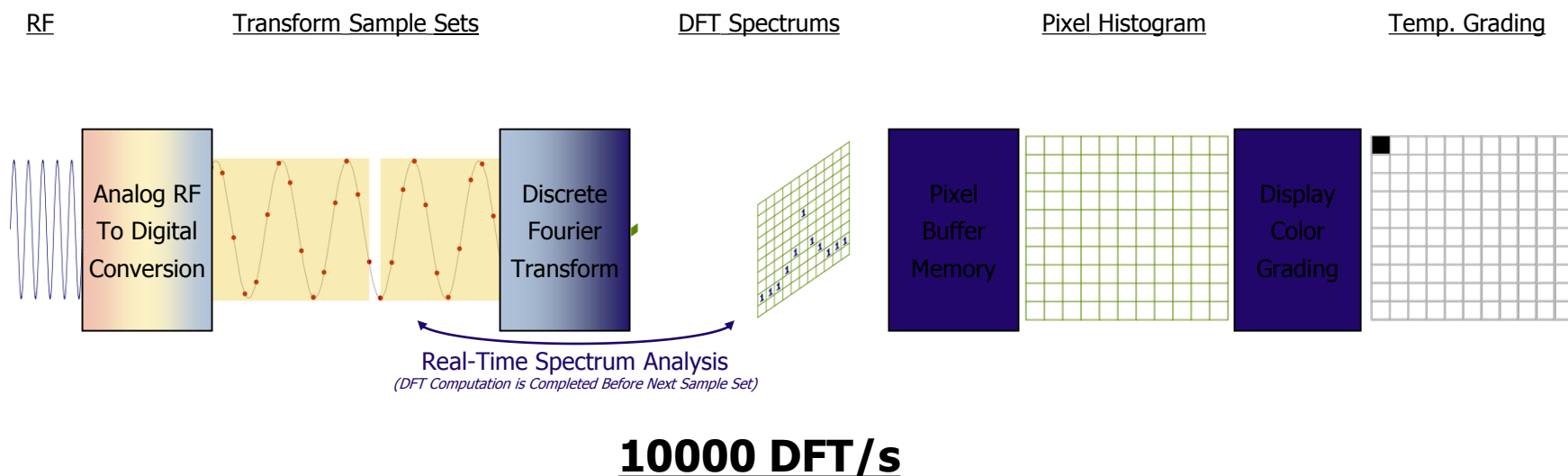
实时频谱分析仪 (RTSA)



基于FFT的现代分析仪

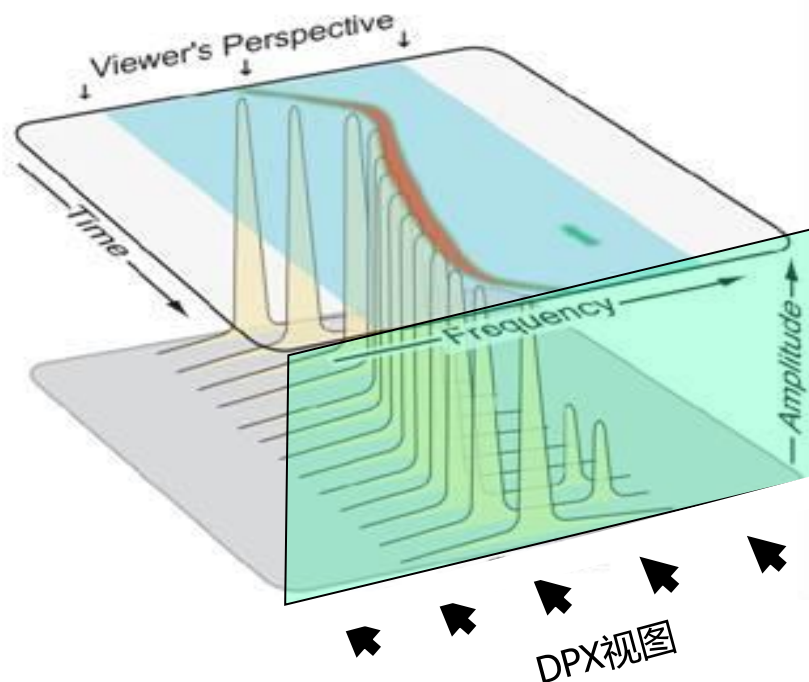


# 泰克专利的 DPX™ 技术 — 提高POI指标的最佳方法

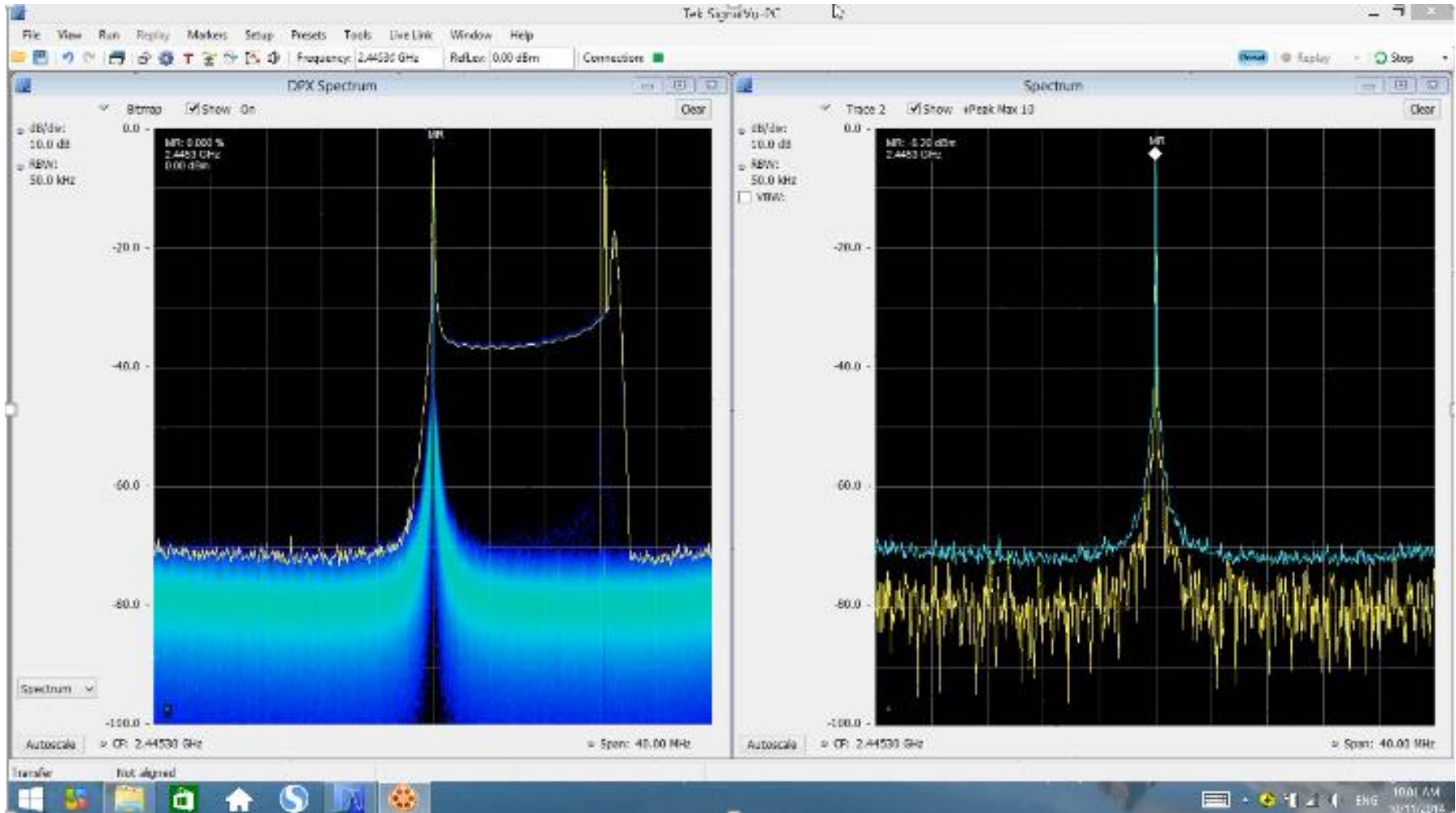


# Digital Phosphor DPX™ 实时频谱显示技术

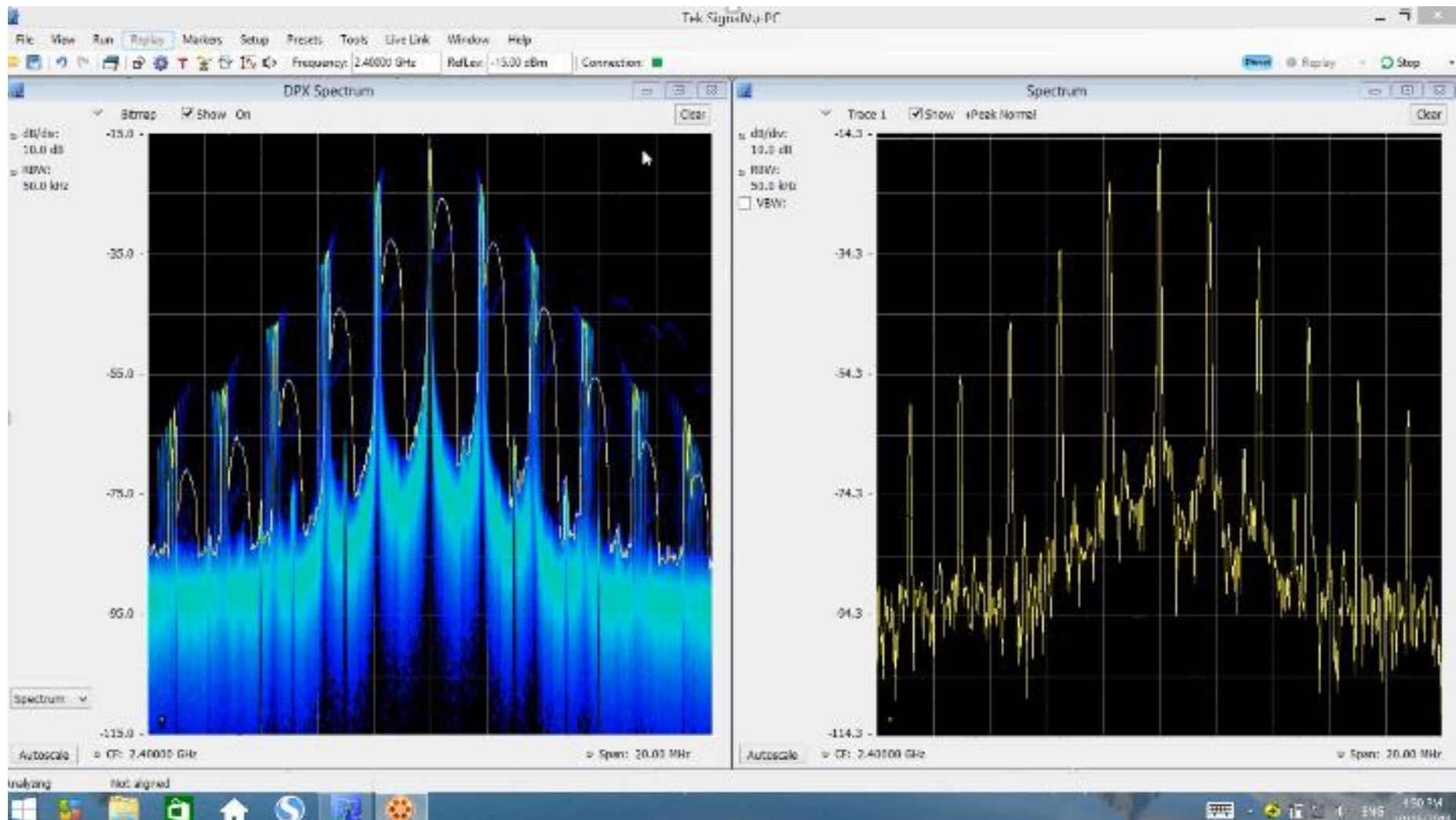
- 自由频谱运行模式下短时间累积大量频谱，重叠显示，以色温表示概率
  - RSA5K 台式实时频谱仪
    - 78412 DFT/20ms
    - 相当于每秒 390625 DFT
      - 1秒内有一个DFT 就可以100% 发现
      - 相当于2.5us
      - 加上处理时间，100% POI指标为2.7us
  - RSA306 高性价比实时频谱仪
    - 10000DFT/S
      - 相当于100us
      - 加上处理时间，100% POI指标125us



# 实时频谱显示的应用1— 提高发现偶发信号的概率



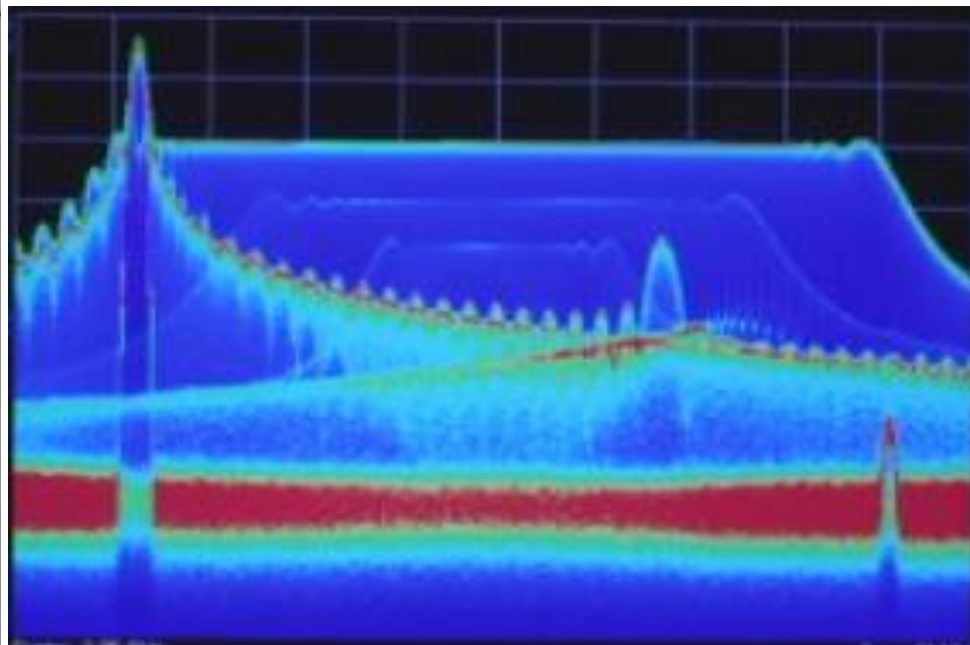
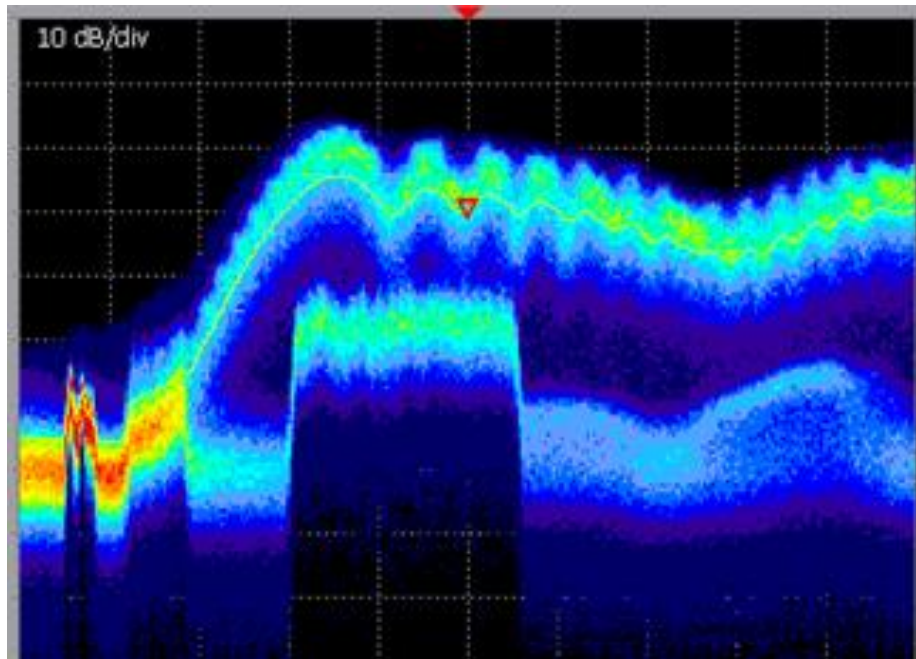
# 实时频谱显示的应用1— 提高发现偶发信号的概率





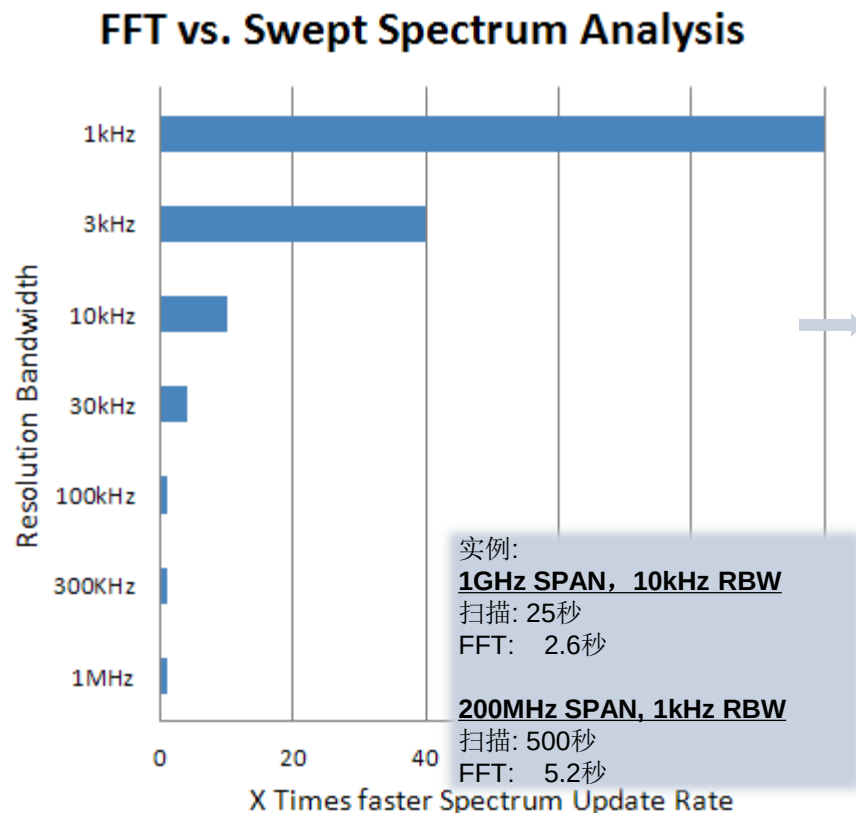
## 实时频谱显示的应用2— 区分同频不同概率的信号

- 只要同一跨度内叠加在一起的信号出现的概率不同，DPX™ 频谱中就会显现出多个不同颜色的信号



# 频谱分析仪扫描速度

- 扫描速度取决于
  - RBW宽度
  - 轨迹点数量
- 交点位于100kHz和30kHz之间
- 在 $RBW < 30kHz$ 时FFT分析仪一般明显快得多
- 记住:
  - **EMI检测器要求驻留时间**
  - **扫描点越多 = 准确度越高**





# 什么是RSA306高性价比频谱分析仪

## ■ RSA306是一款高性价比的频谱分析仪

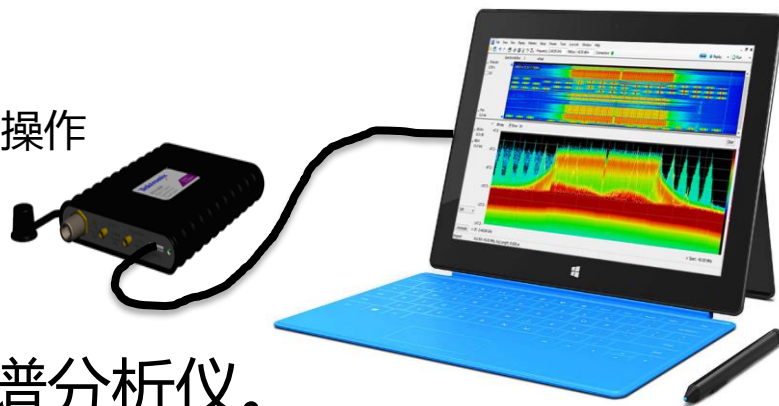
### — 主要技术指标

- 9 kHz 到 6.2 GHz
- 50 dB 无杂散动态范围(SFDR)
- -160 dBm/Hz 显示平均噪声电平
- 0.59 kg
- 猜猜价格？



## ■ RSA306是代表测试仪器发展趋势的频谱分析仪

- 80% 的测试仪器基于 PC
- RSA306 将测试硬件从 PC 剥离
  - 通过USB3.0连接PC并供电
  - 利用泰克高端实时频谱分析仪的脱机界面操作
    - 所有功能在 SignalVu-PC 中完成
  - 不受PC换代的影响
  - 与虚拟仪器有本质区别

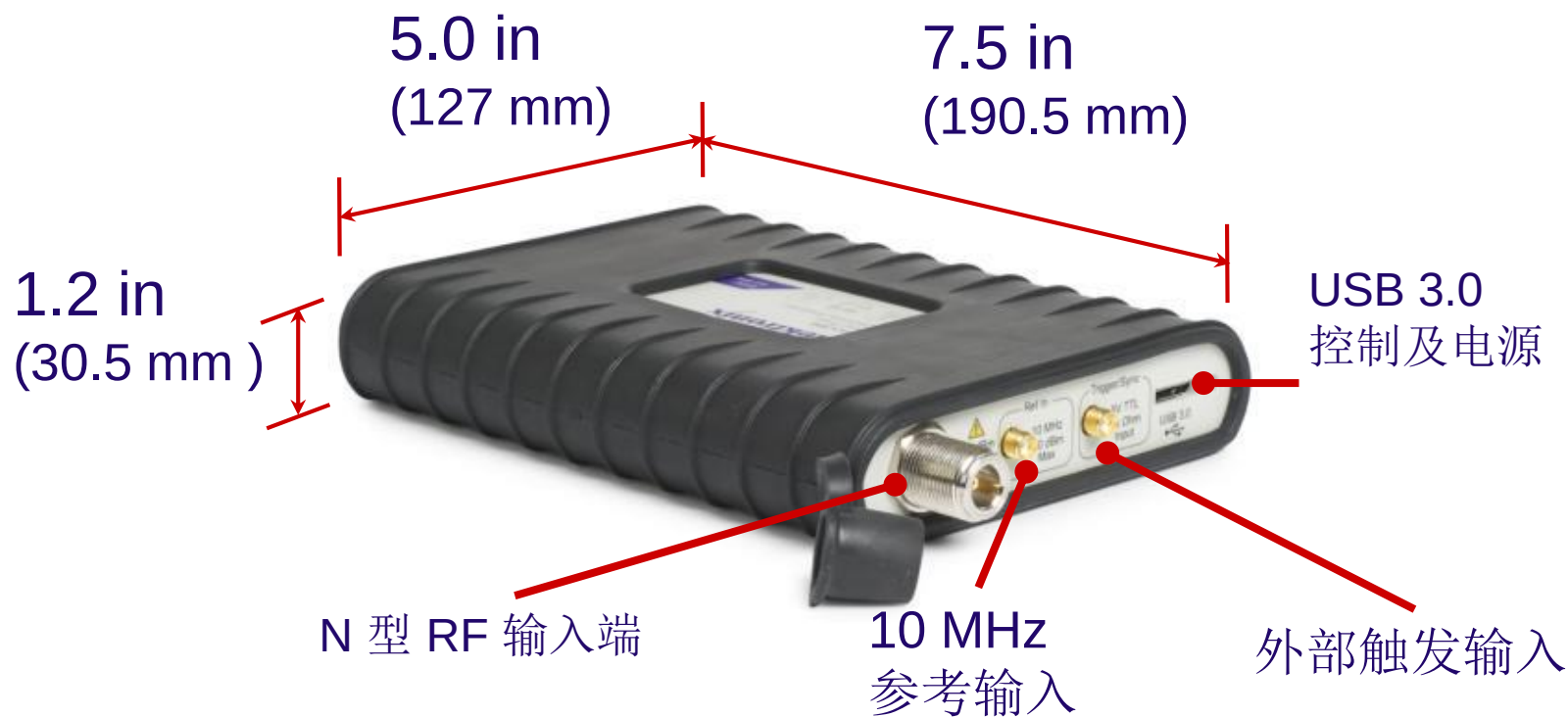


## ■ RSA306是泰克公司最新推出的频谱分析仪。

- 70年传承誉满全球
- 领先的时域分析技术
- 领先的实时频谱分析技术
- 质量保障



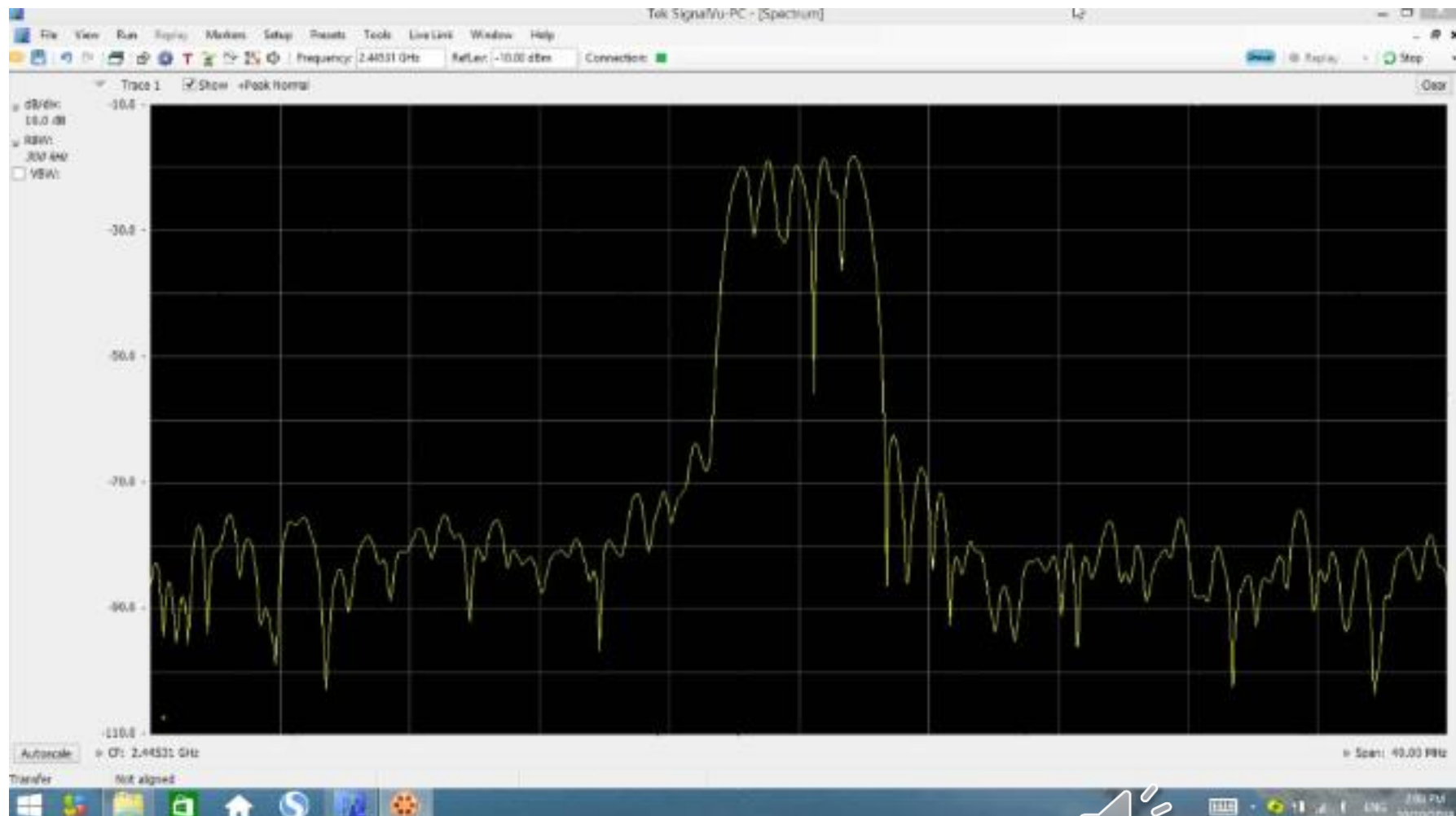
# 什么是RSA306高性价比频谱分析仪



# 什么是RSA306高性价比频谱分析仪

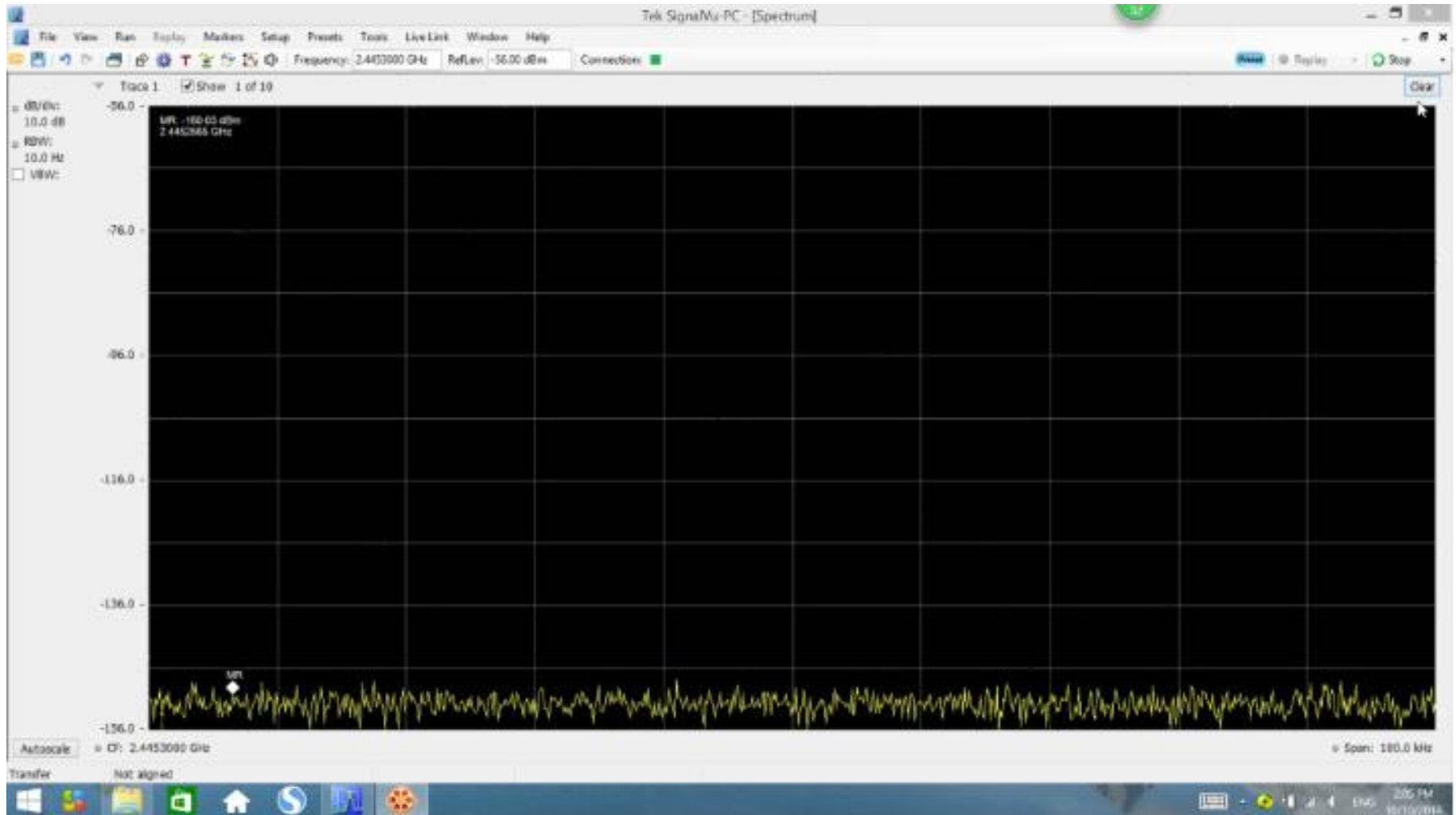
RF signal analysis in your hands!

触手可及的频谱分析



# 什么是RSA306高性价比频谱分析仪

- -160dBm/Hz DANL



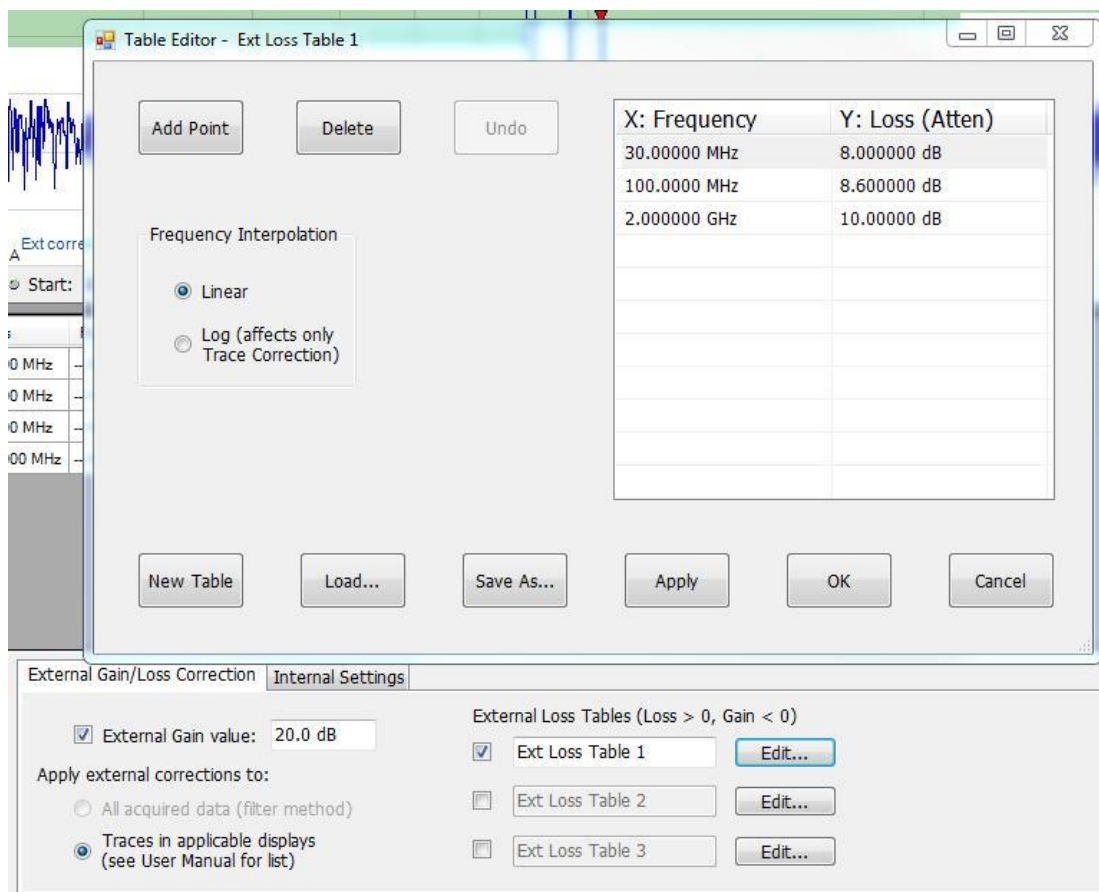
# 预认证扫描：频率范围

| Ranges and Limits Table |    |              |              |              |          |      |           |          |        |                 |             |      |                  |                 |          |                |               |          |              |
|-------------------------|----|--------------|--------------|--------------|----------|------|-----------|----------|--------|-----------------|-------------|------|------------------|-----------------|----------|----------------|---------------|----------|--------------|
|                         | On | Start (Hz)   | Stop (Hz)    | Filter Shape | BW (Hz)  | Auto | Detector  | VBW (Hz) | VBW On | Threshld (dBuV) | Exorsn (dB) | Mask | Abs Start (dBuV) | Abs Stop (dBuV) | Abs Same | Rel Start (dB) | Rel Stop (dB) | Rel Same |              |
| A                       | ✓  | 30.000000M   | 88.000000M   | CISPR        | 120.000k | ✓    | CISPR +Pk | 1k       |        | 20.00           | 6.0         | Abs  | 40.00            | 40.00           |          | -30.000        | -30.000       |          | Reset layout |
| B                       | ✓  | 88.000000M   | 216.00000... | CISPR        | 120.000k | ✓    | CISPR +Pk | 9k       |        | 23.00           | 6.0         | Abs  | 43.50            | 43.50           |          | -30.000        | -30.000       |          | Load...      |
| C                       | ✓  | 216.00000... | 960.00000... | CISPR        | 120.000k | ✓    | CISPR +Pk | 3k       |        | 26.00           | 6.0         | Abs  | 46.00            | 46.00           |          | -30.000        | -30.000       |          | Save As...   |
| D                       | ✓  | 960.00000... | 6.200000G    | CISPR        | 1.000M   | ✓    | CISPR +Pk | 1k       |        | 34.00           | 6.0         | Abs  | 54.00            | 54.00           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| E                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| F                       |    | 2.455300G    | 2.545300G    | RBW          | 1.000k   |      | +Peak     | 1k       |        | 16.99           | 6.0         | Abs  | 26.99            | 26.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| G                       |    | 3.700000G    | 4.000000G    | RBW          | 3.000M   | ✓    | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| H                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| I                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| J                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| K                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| L                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| M                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| N                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| O                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| P                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| Q                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| R                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| S                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          |              |
| T                       |    | 0.000000     | 0.000000     | RBW          | 1.000M   |      | +Peak     | 1M       |        | 56.99           | 6.0         | Abs  | 56.99            | 56.99           |          | -30.000        | -30.000       |          | Done         |

- 最多20个量程
- CISPR/MIL RBW
- 可变检测门限
- 绝对值测量
- 相对值测量
- 预先确定标准



# 预认证扫描：路径损耗/增益

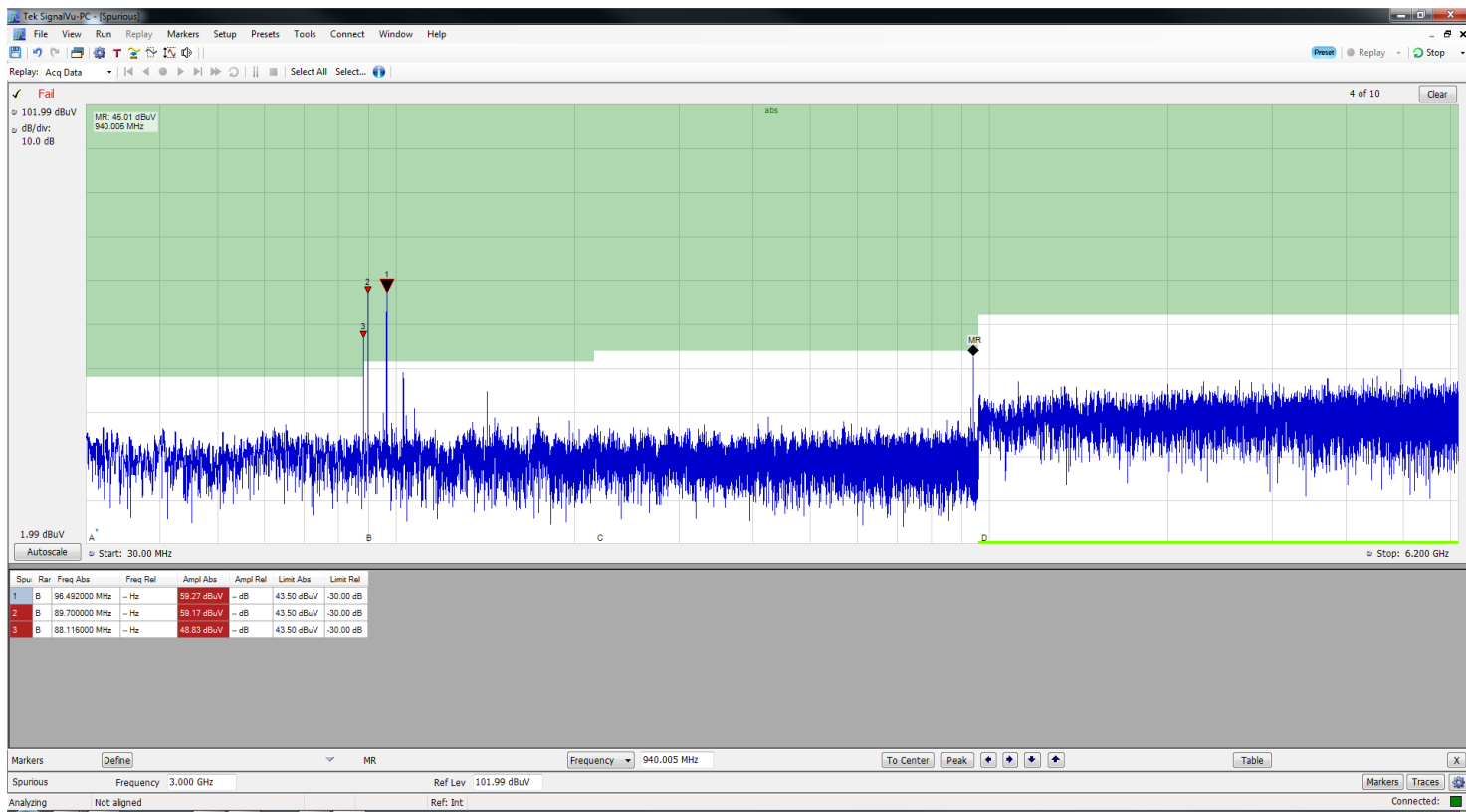


- 补偿路径增益/损耗
- 注意天线因数与增益/损耗
- 一次最多3台





# 预认证扫描 → 泰克RSA306



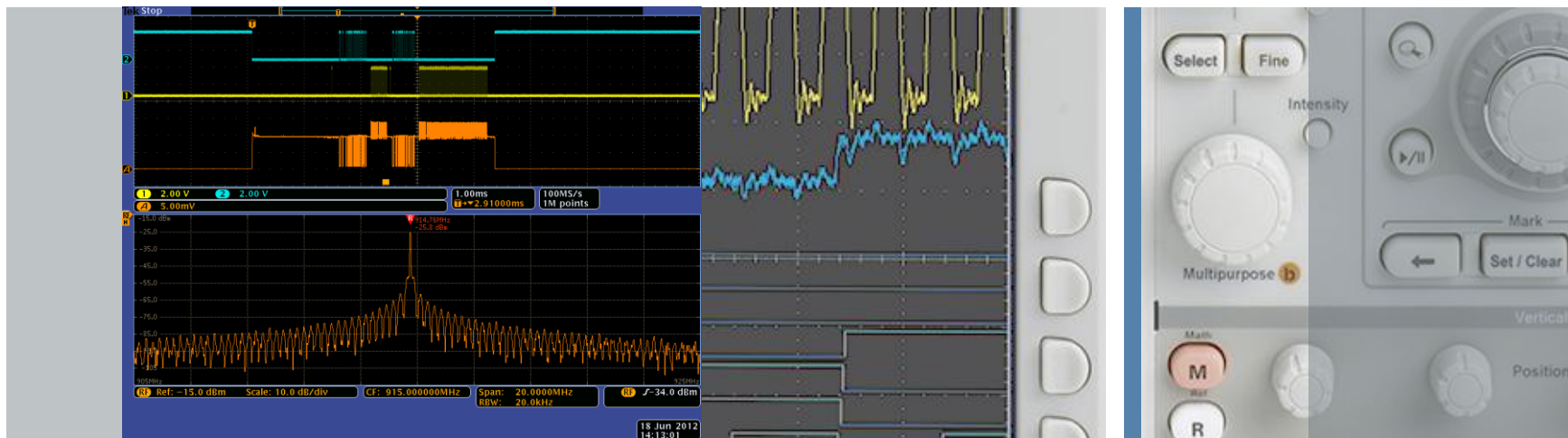
- 30 MHz – 6.2 GHz
- 128,004 个轨迹点
- ~ 7s (CISPR峰值)

- 阴影区域 = 极限
- 自动 ID 极限失败



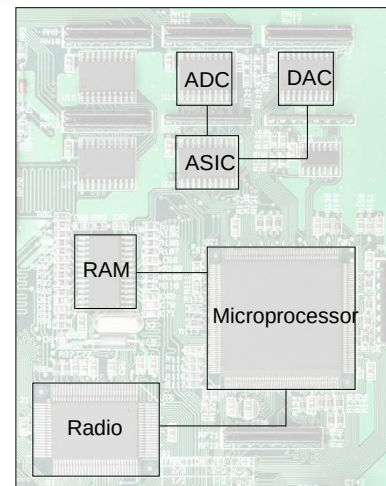
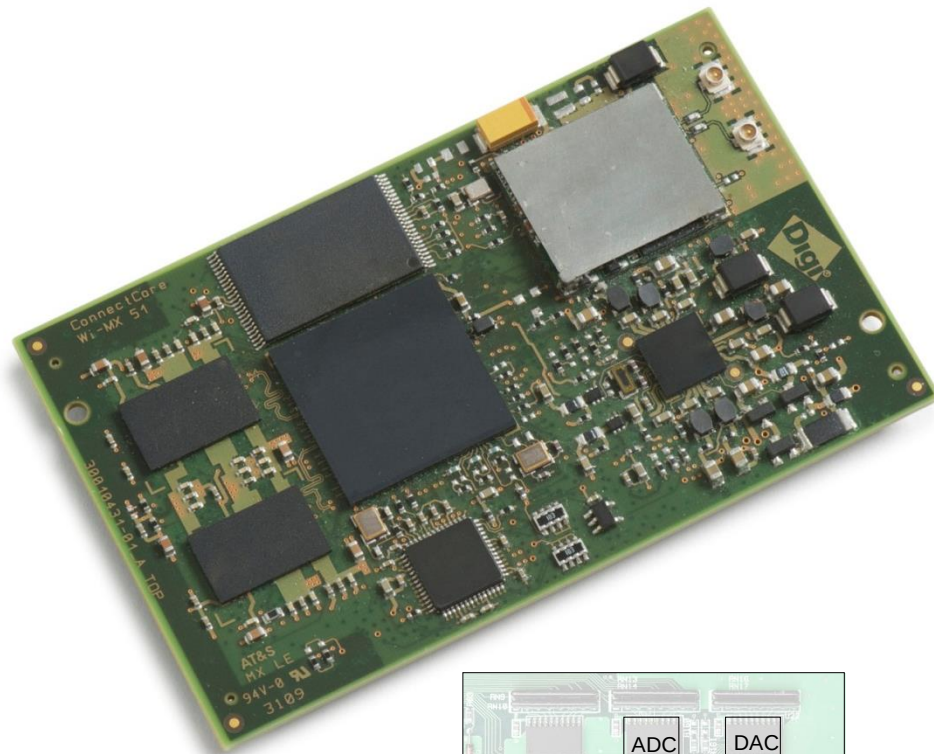


# 调试 EMI 问题



# 调试 EMI 问题

- 开关电源
  - 开关频率和谐波
  - 负载相关辐射
- 时钟和数据
  - 高速时钟, 数据, 边沿
  - 高速接口
  - 开关控制
- 谐振
  - 电路板和导体几何形状
  - 导线长度, 路由, 端接
  - 屏蔽和机构连接



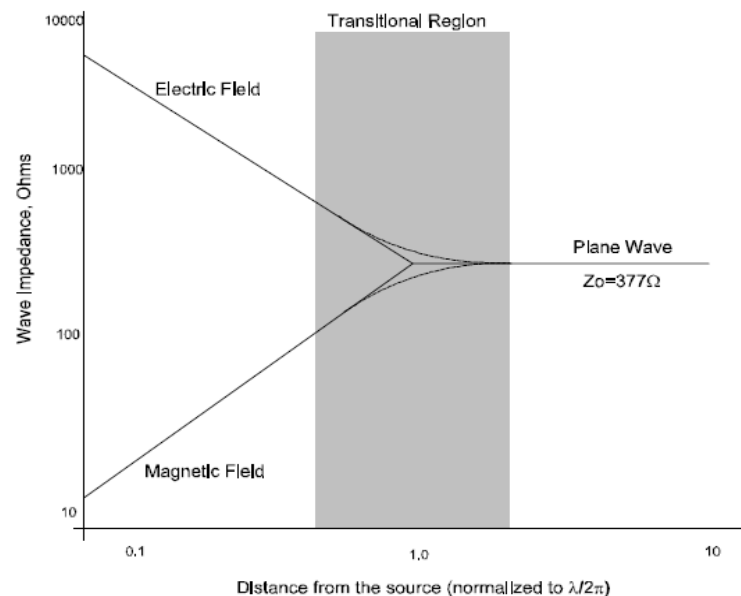
放射 EMI 问题取决于

- 辐射源
- 天线



# 调试 EMI 问题 → 近场探测

- 电场
  - 存根
  - 高电压、低电流源
  - 最大灵敏度与源垂直
- 磁场
  - 环路
  - 低电压、高电流源
  - 最大灵敏度与源平行
- 隔离能量来源
- 测量相对变化
- 要审慎



# 一台仪器多个域

## ■ MDO4000B混合域示波器

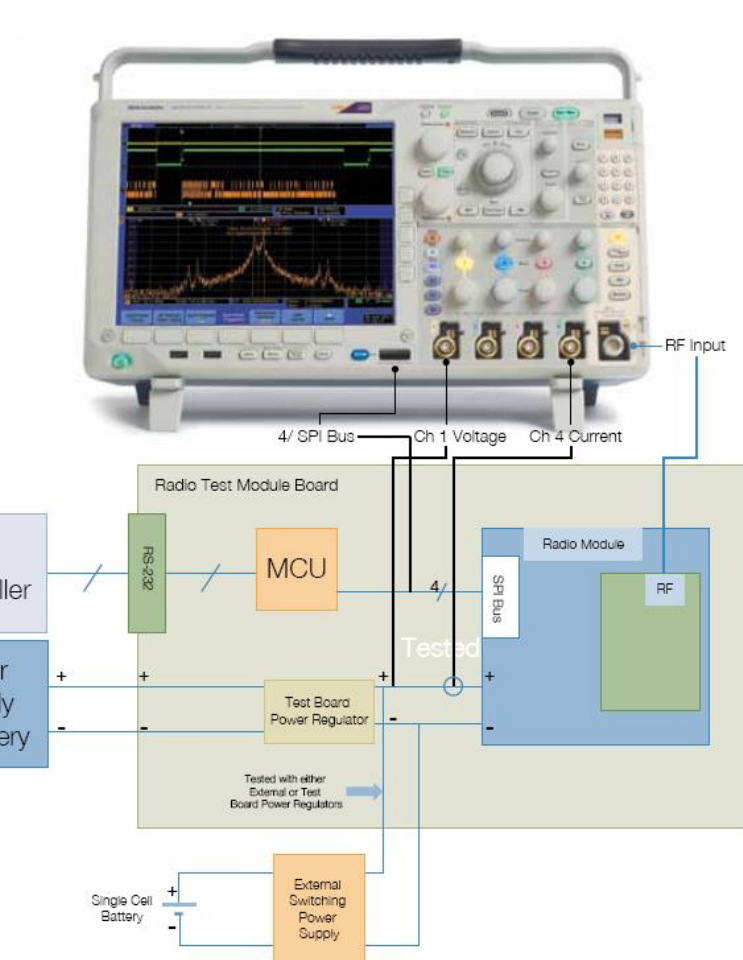
- 21个输入，所有输入均时间相关
  - 频谱分析仪
  - 示波器
  - 基础逻辑分析仪
  - 协议分析仪

## ■ 宽带频谱分析仪

- 9 kHz ~ 3/6 GHz
- 灵敏 / 宽带
- 记录RF

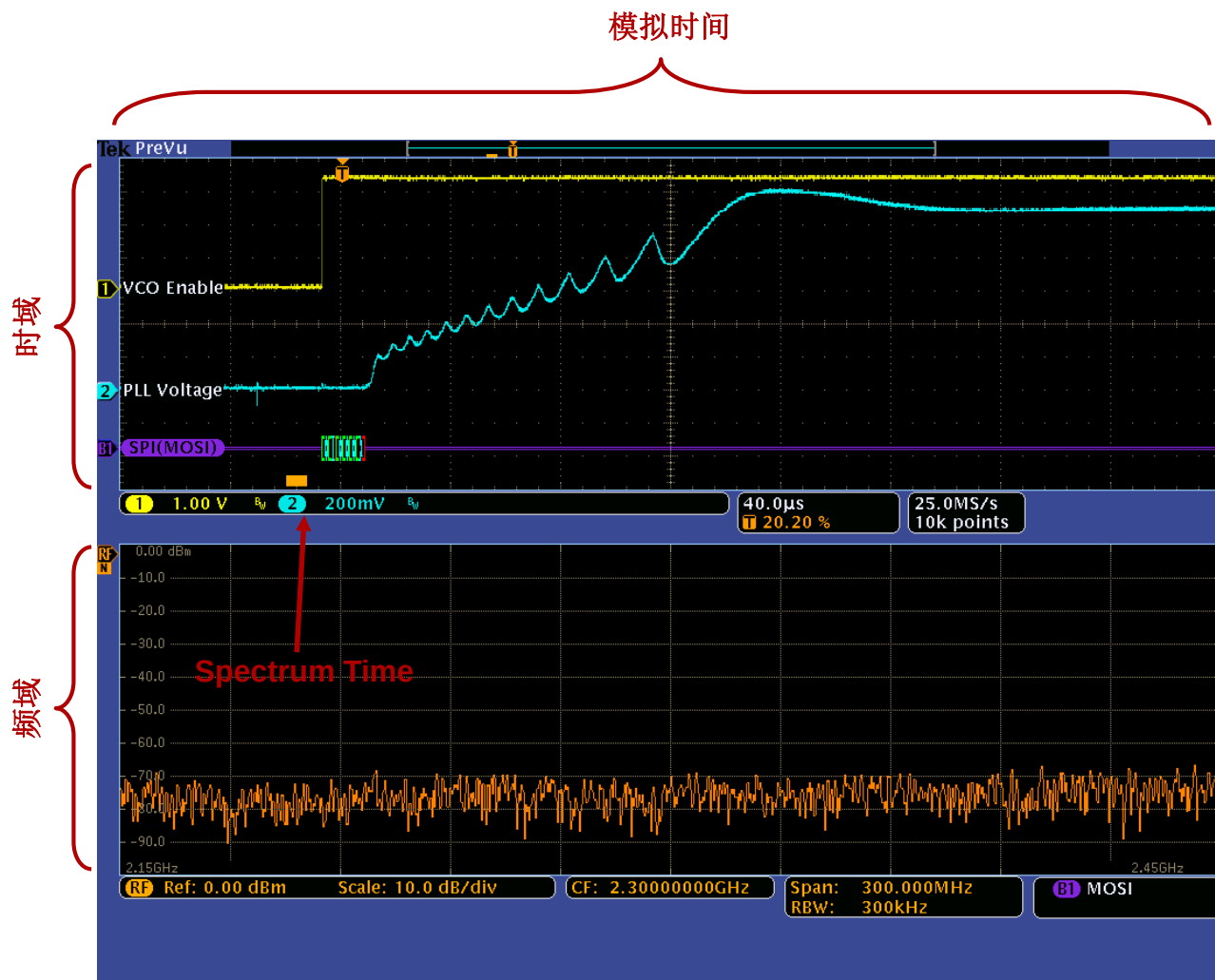
## ■ 频谱与下面的因素相关

- 电压
- 电流
- 逻辑

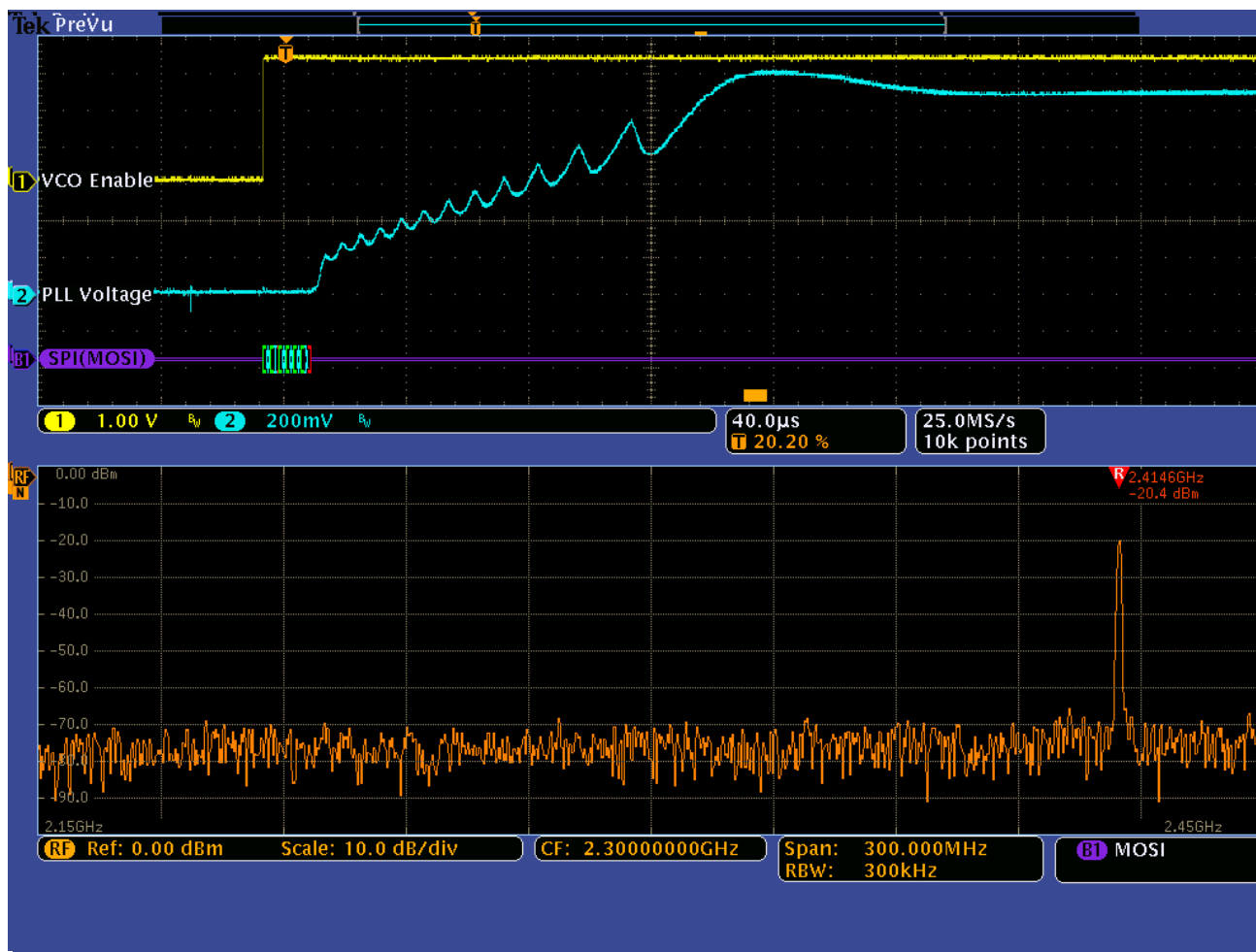


# 时间相关多域显示

- 顶部捕获的时间数量称为模拟时间
- 橙色条称为频谱时间
- 橙色条表明来自RF输入的频谱的时间周期



# 时间相关多域显示



## 简单的无线电

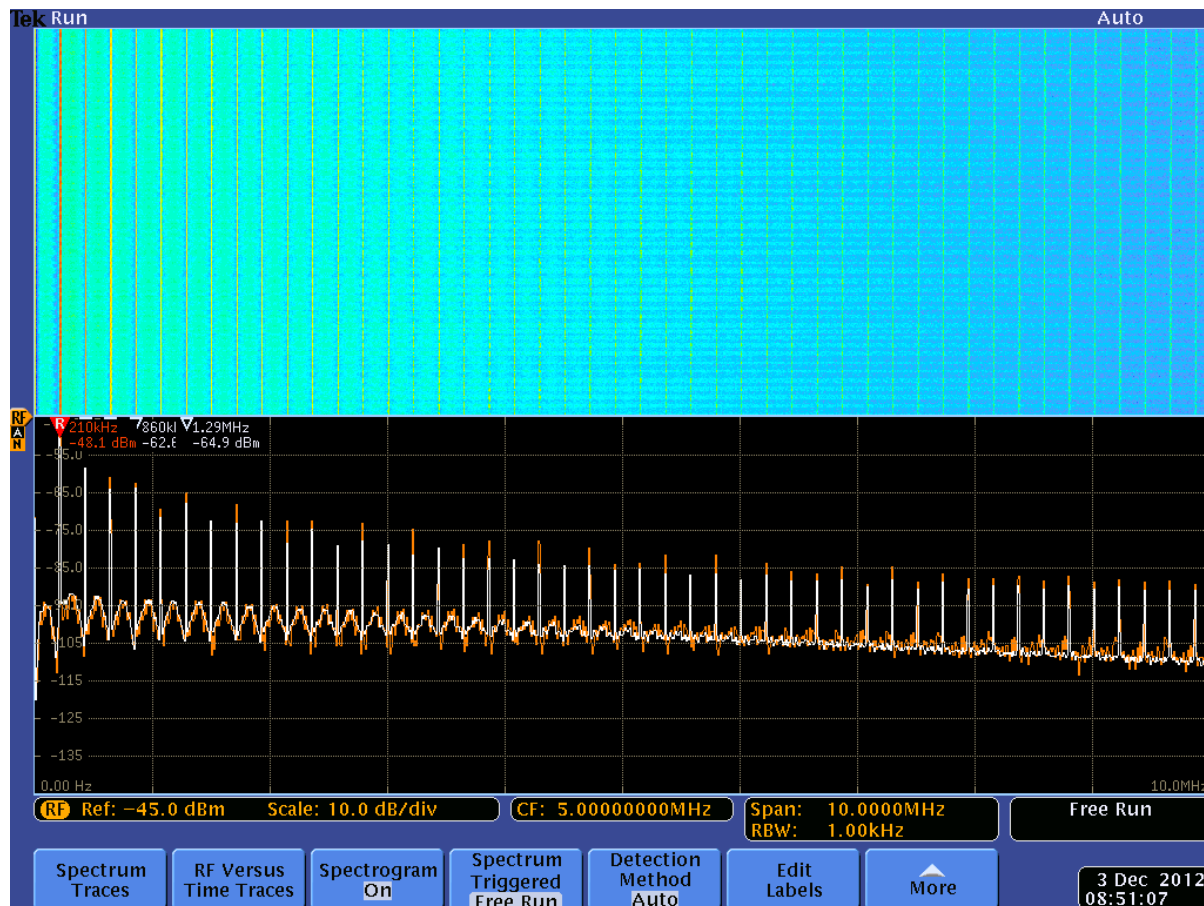
- SPI总线打开发射机
- PLL电压控制频率
- 在无线电打开及改变通道时观察结果





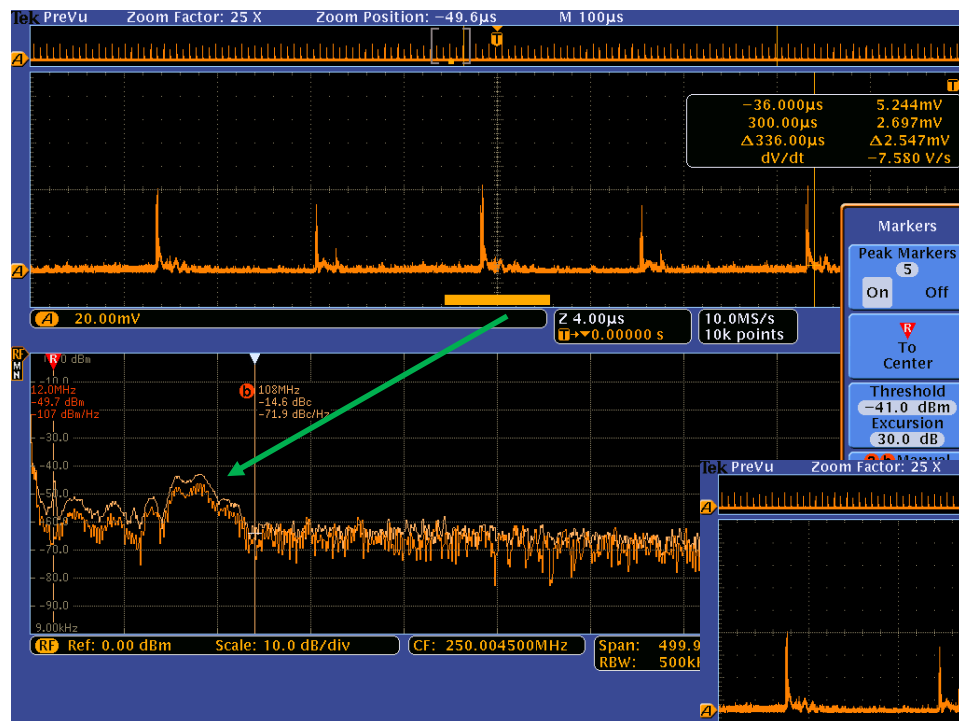
# 实例：开关式电源

- RF : P6158
- DC-DC转换器输出
- 三维频谱图显示PSD相对于时间的关系



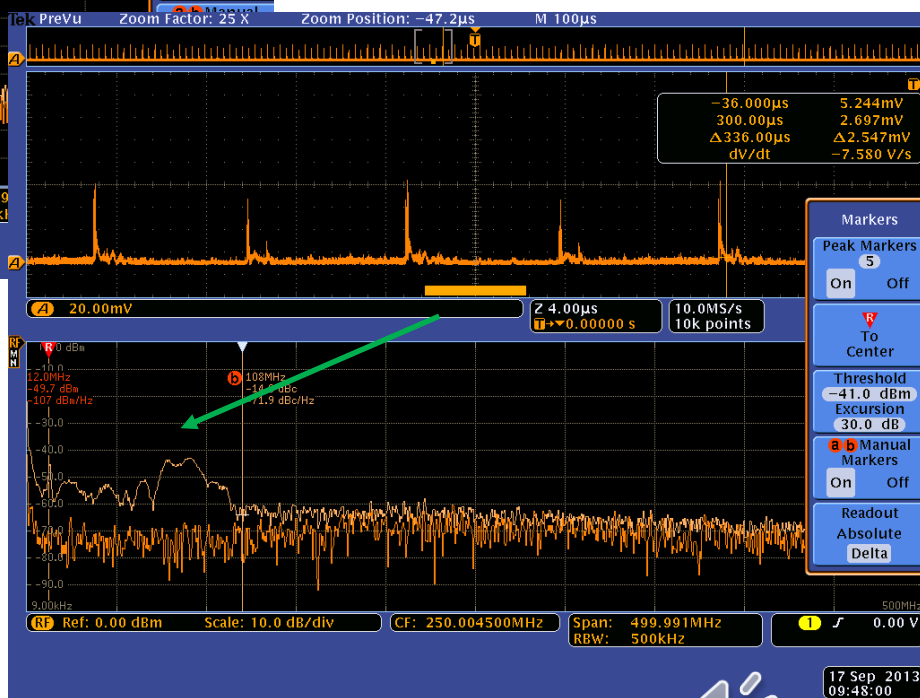


# 实例：开关D级放大器

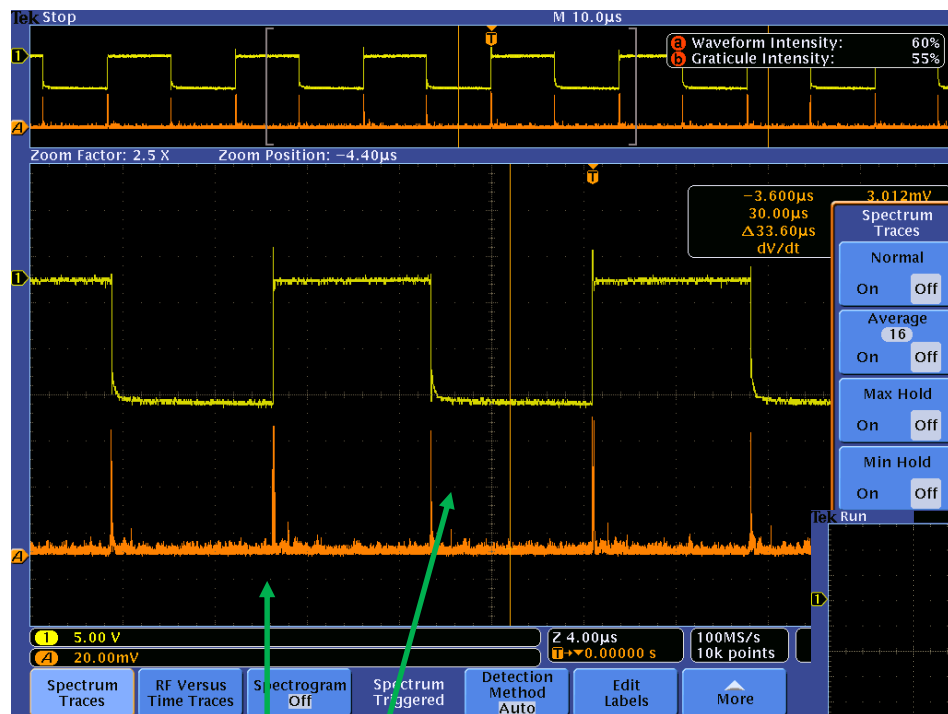


- RF: 磁场探头
- 幅度相对于时间的关系
- 频谱显示

功率相对于时间峰值的关系与频谱内容相关

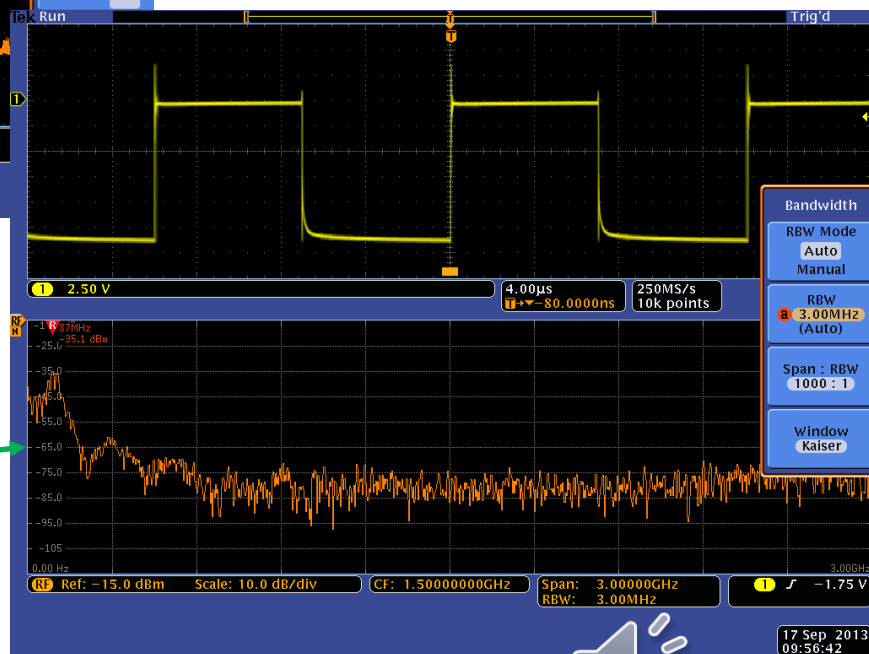


# 实例：开关D级放大器



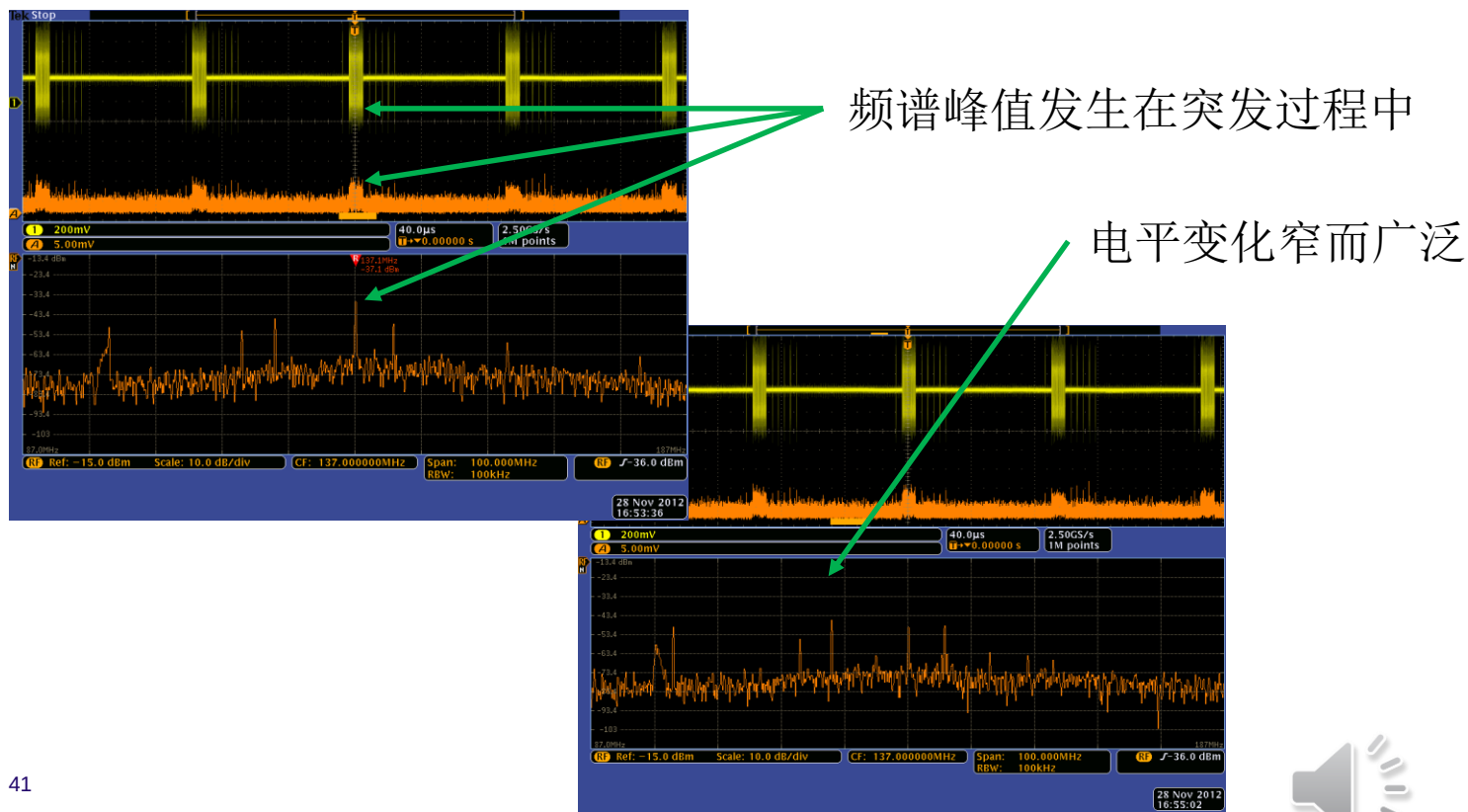
开关控制上升沿/下降沿上的频谱峰值

- RF: H场探头
- Ch1 = 开关信号 (HR)
- 频谱
- 直接相关

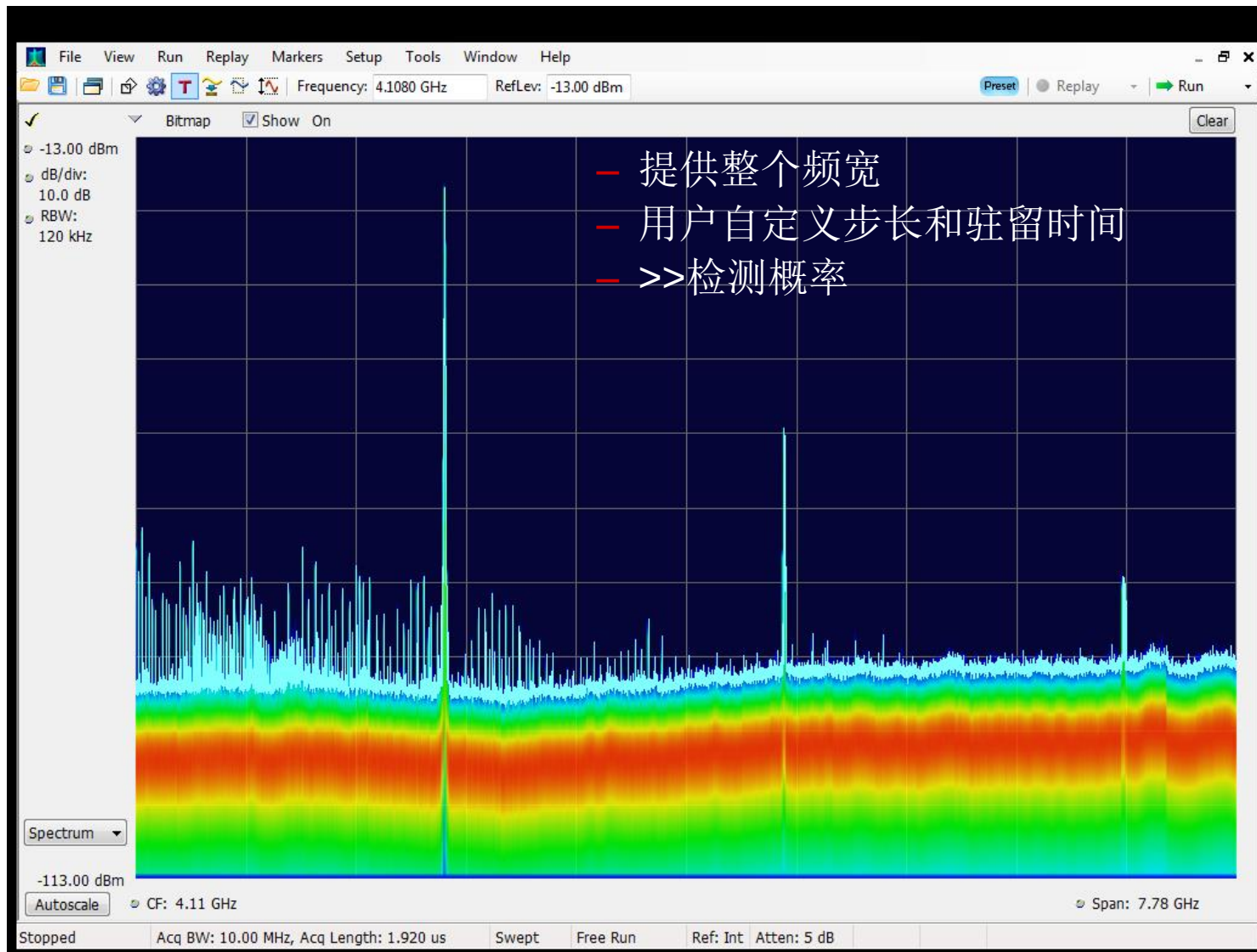


# 实例：USB干扰

- RF: 磁场探头 (USB电缆接口)
- CH1: USB HS线
- 直接相关

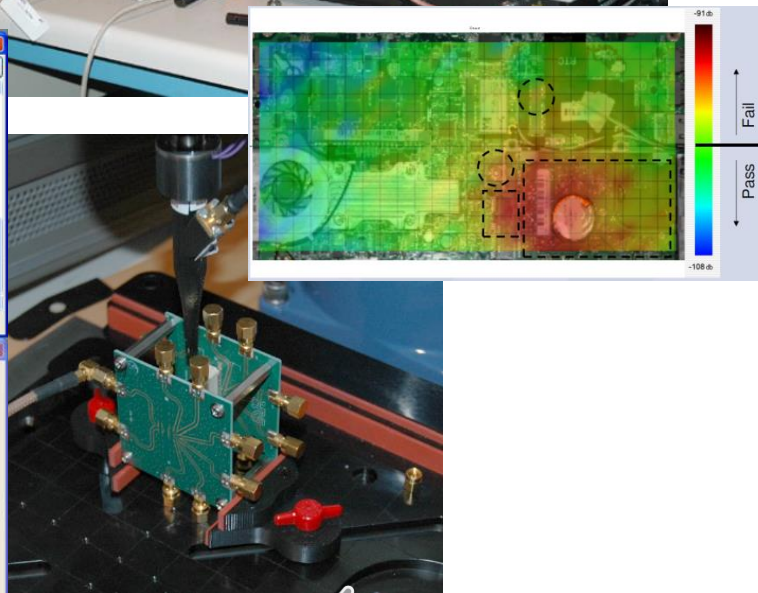
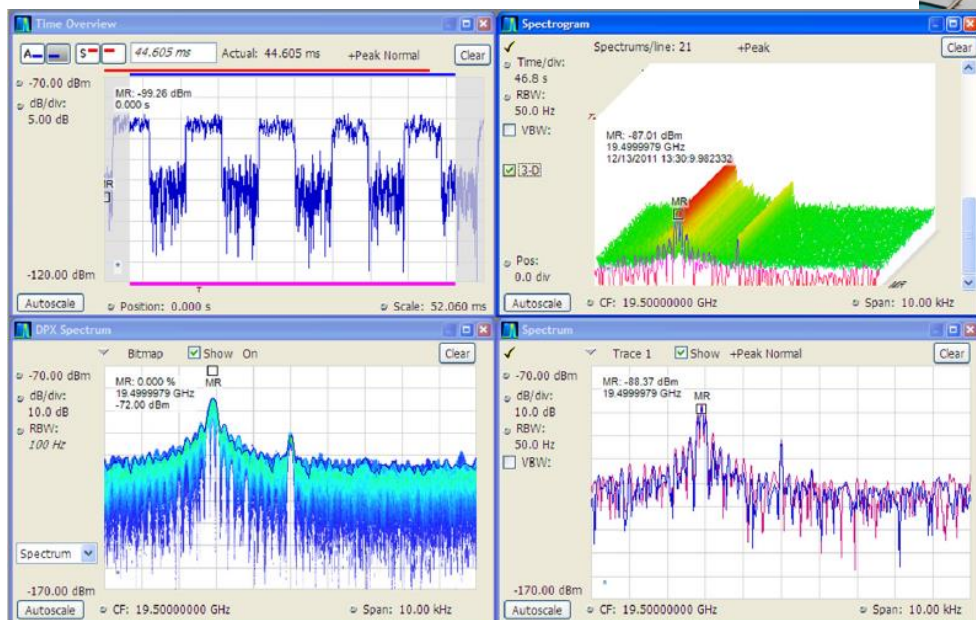
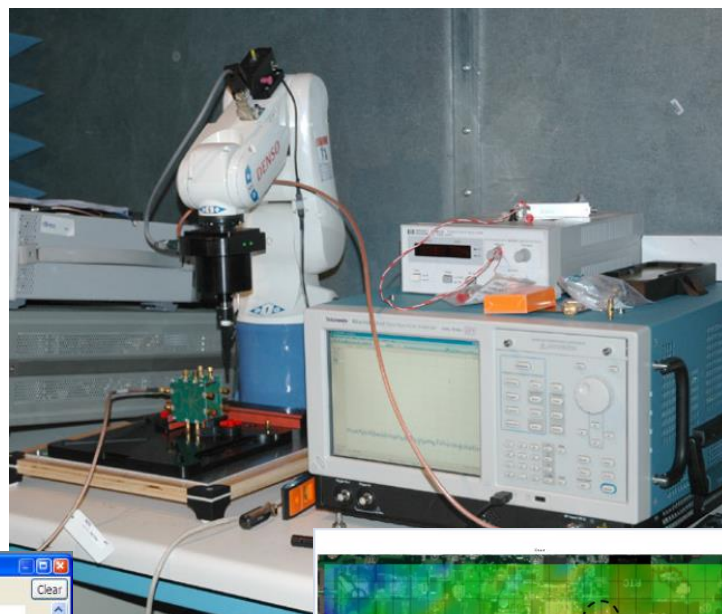


# 高级EMI诊断：泰克RTSA



# 高级EMI诊断 → 电路板级扫描

- APREL 公司 EM-iSight
- 自动扫描, 一只近场探头, 20 GHz覆盖范围
- 远场估算
- [www.aprel.com](http://www.aprel.com)



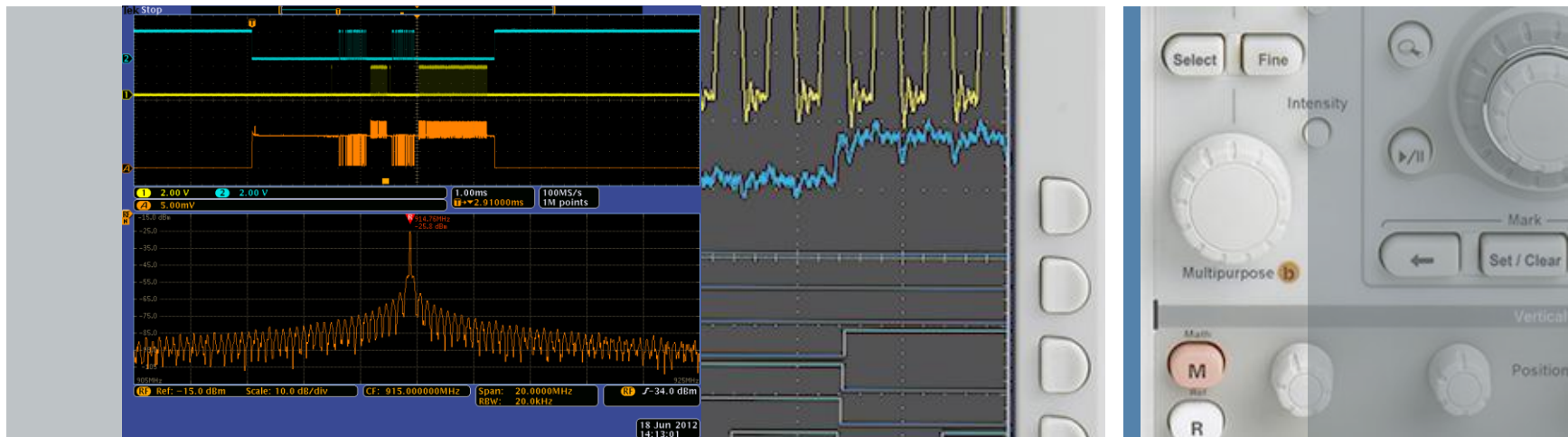
# 小结

- 现代设计的**EMI**诊断和调试带来了独特的挑战 → 您的产品中有哪些器件？
- 预认证扫描可以节约资金和时间
- 注意选择的工具，了解其局限性
- 近场扫描可以确定问题区域
- 在时间相关的多个域中进行分析可以加快诊断和调试速度
- 实时频谱分析可以更深入地了解瞬态现象
- 周期性和认证是确定**EMI**根源的关键





# 有问题吗？



48W-29522-1 6/15



**Tektronix**<sup>®</sup>