

高级频谱分析与时频域 联合调试

日程

- 丨 电子设计的发展趋势
- 丨 频域信号分析与高级FFT技术
- 丨 电子电路的时域和频域联合分析
- 丨 产品设计阶段的EMI诊断与预测试

现代嵌入式设计的发展趋势

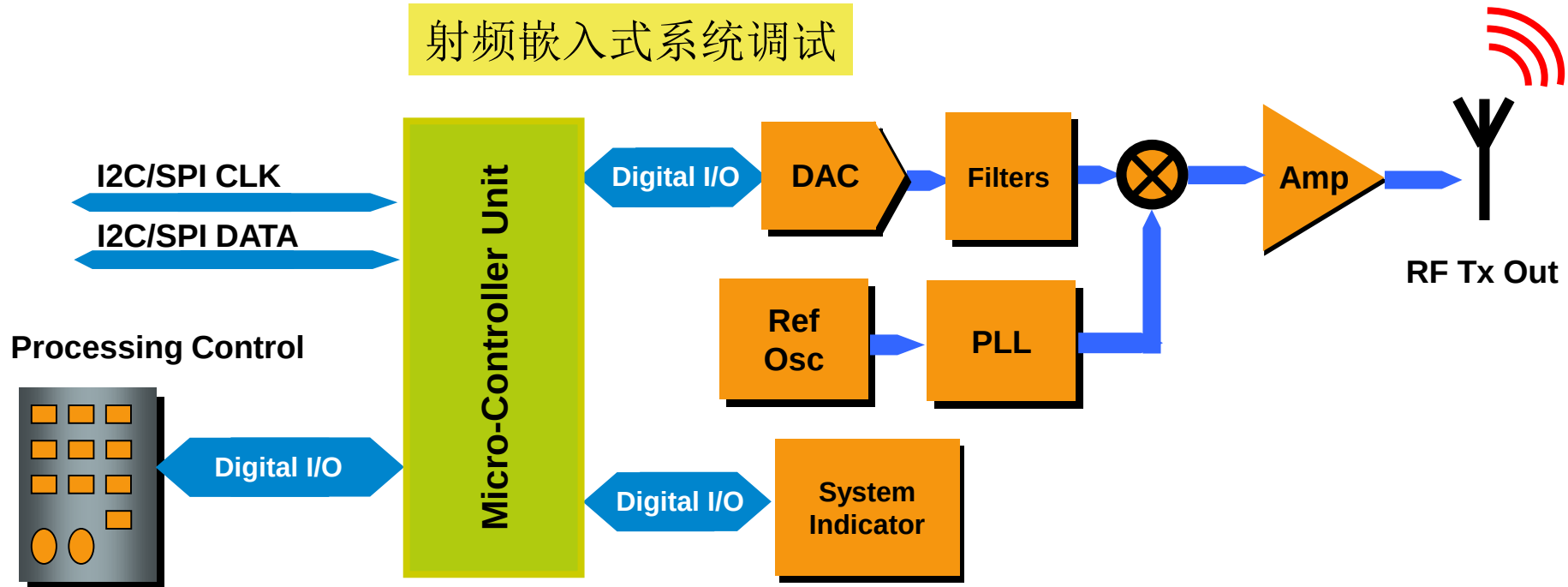
I 无线通信无处不在

- I 同一时间包括多种频率信号
- I 信号之间存在相互干扰，并且与数字信号在时间上有一定关系



嵌入式系统调试要求 - 时域和频域的综合分析能力

射频嵌入式系统调试



- 除进行普通的数字电路分析外，射频嵌入式系统还需要做时间上相互关联的时域和频域信号分析
- 随着信号频率的增加，系统的EMI问题更加严重，需要在设计和验证中特别关注

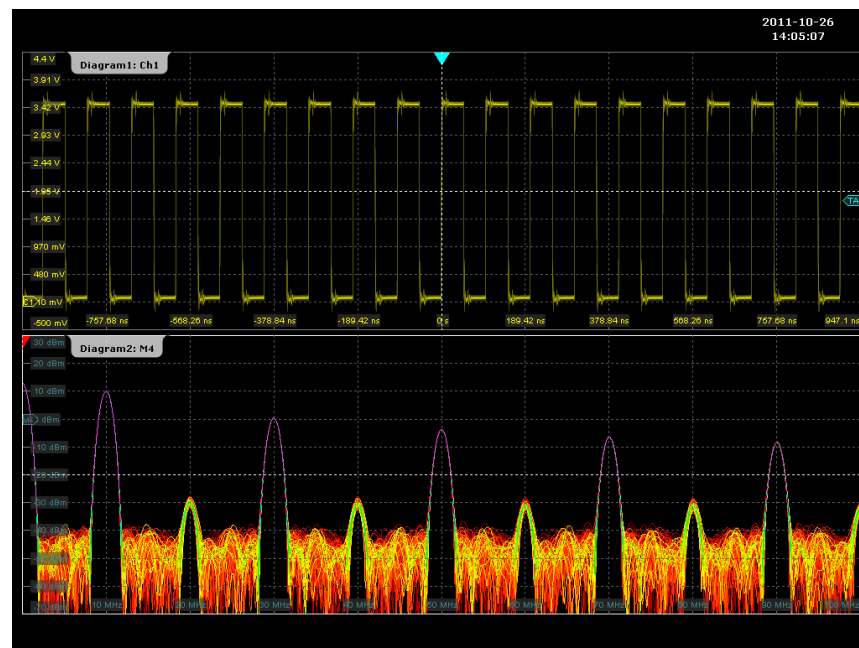
示波器—能否成为时域/频域综合分析工具

■ 工程师最常用的测试仪器

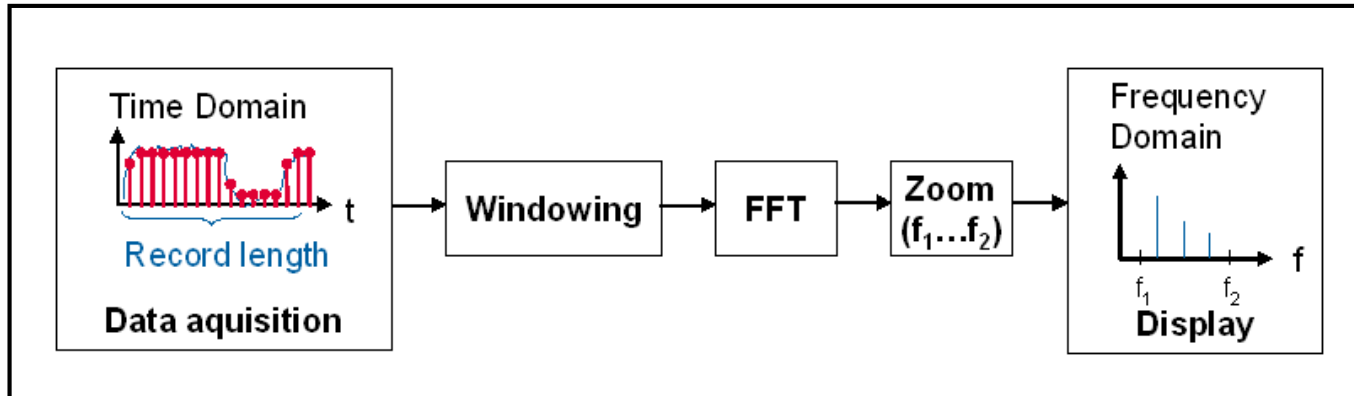
- 模拟电路、数字信号
- 总线分析、解码
- 混合电路调试
- FFT分析显示信号频谱特性

■ 问题

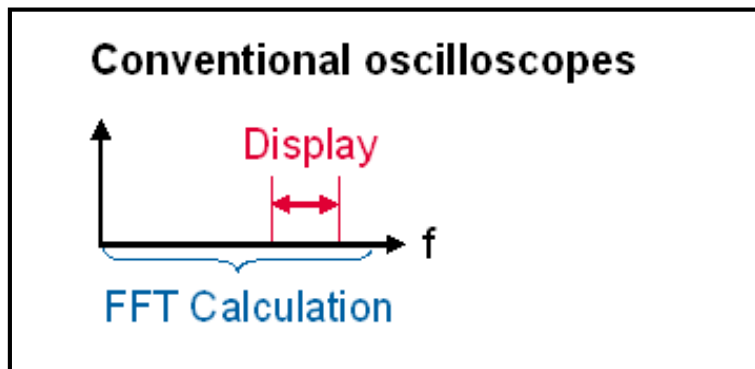
- 速度太慢，无法捕获瞬态问题
- 频率分辨率低
- 动态范围有限
- 无法和时域信号相关联
- 无法使用频谱信号做触发



普通示波器的频谱分析



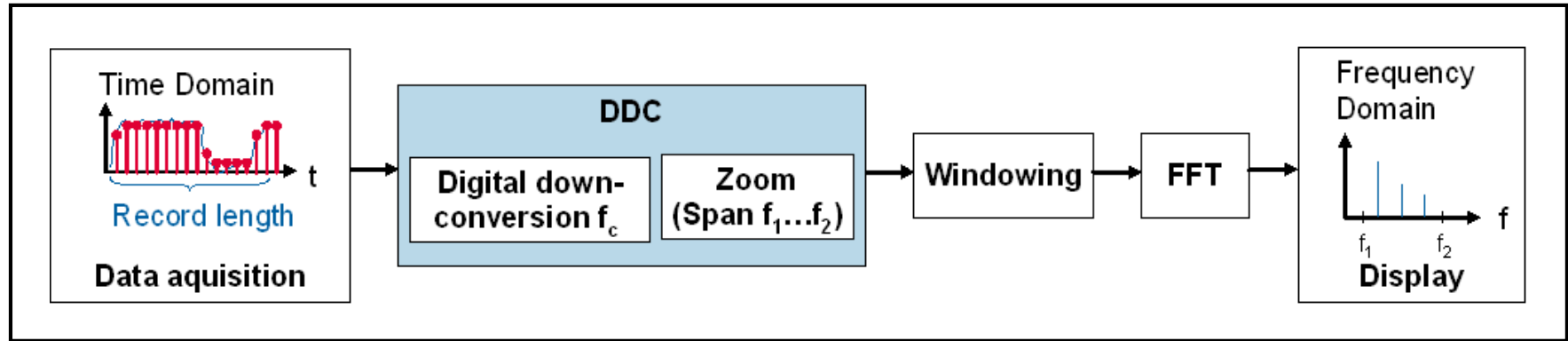
- 通过FFT运算得到从0Hz至最大频率的频谱结果（DC-1/2采样率）。
- 做FFT计算前可加窗滤波
- FFT运算完成后，用户可以选择需要显示的频段范围



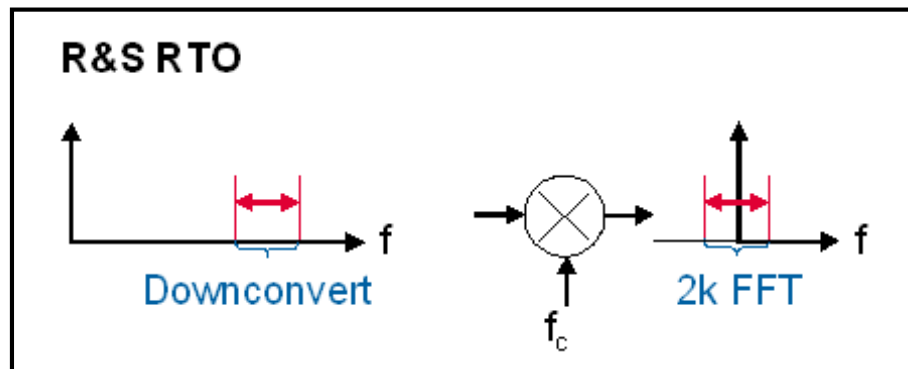
传统FFT分析的缺点：

- 缓慢的速度/刷新率
- 较差的分辨率（FFT结果做后放大）
- 复杂的设置（需要了解信号时域的设置对FFT结果的影响）

R&S RT0示波器的FFT功能



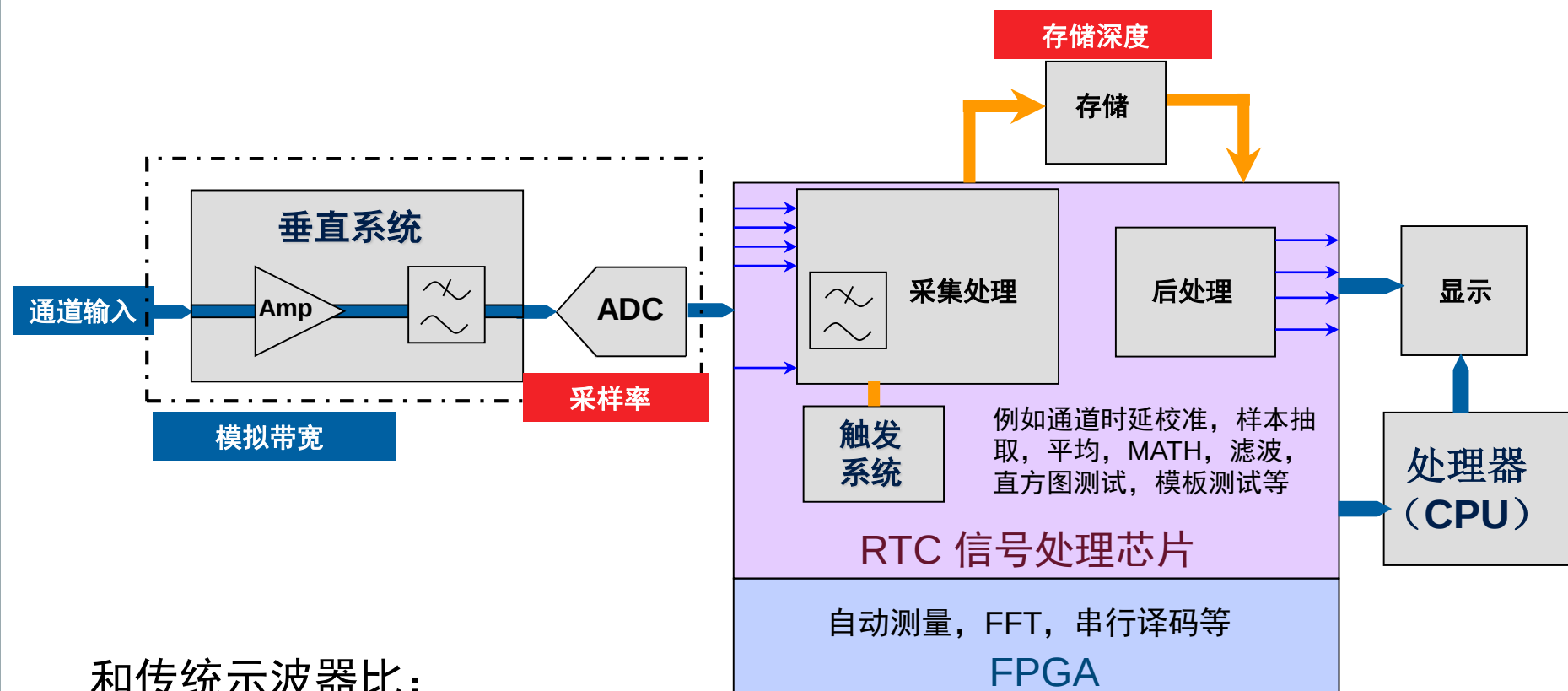
- 用户选择目标频段，通过数字下变频技术转换到基带
- 针对选定的频段（或放大部分频段）做 FFT 计算
- 做FFT计算前可加窗滤波



RT0示波器所用技术的优势：

- ✓ 更快的速度和刷新率
- ✓ 更高的分辨率（在FFT之前进行放大）
- ✓ 更高的动态范围
- ✓ 更灵活的设置

RT0独特技术—专用硬件FFT分析



和传统示波器比：

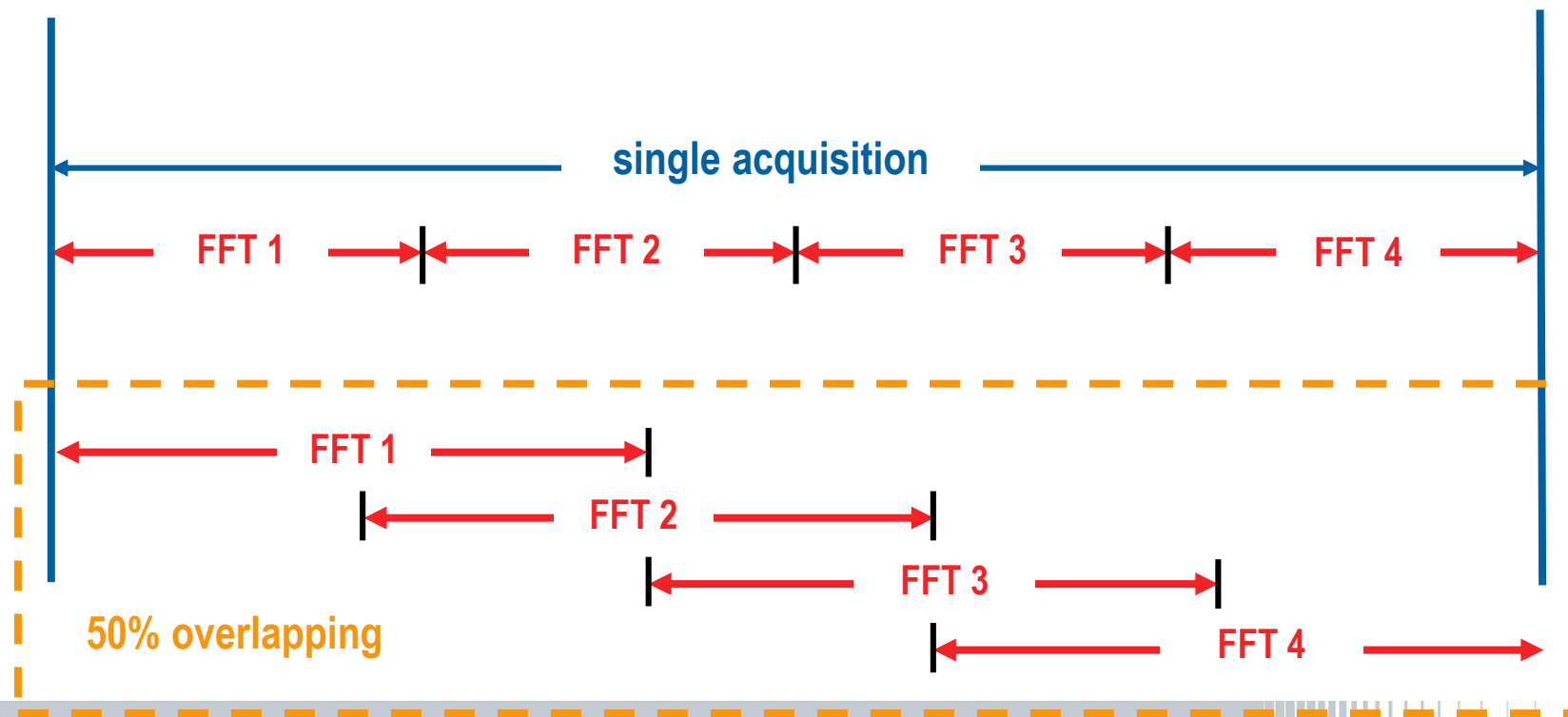
- 引入RTC实时信号处理芯片和FPGA完成信号分析处理
- 减少死区时间、实现高捕获和更新

硬件FFT运算速度远高于普通软件计算方法

RT0独特技术—多重重叠FFT

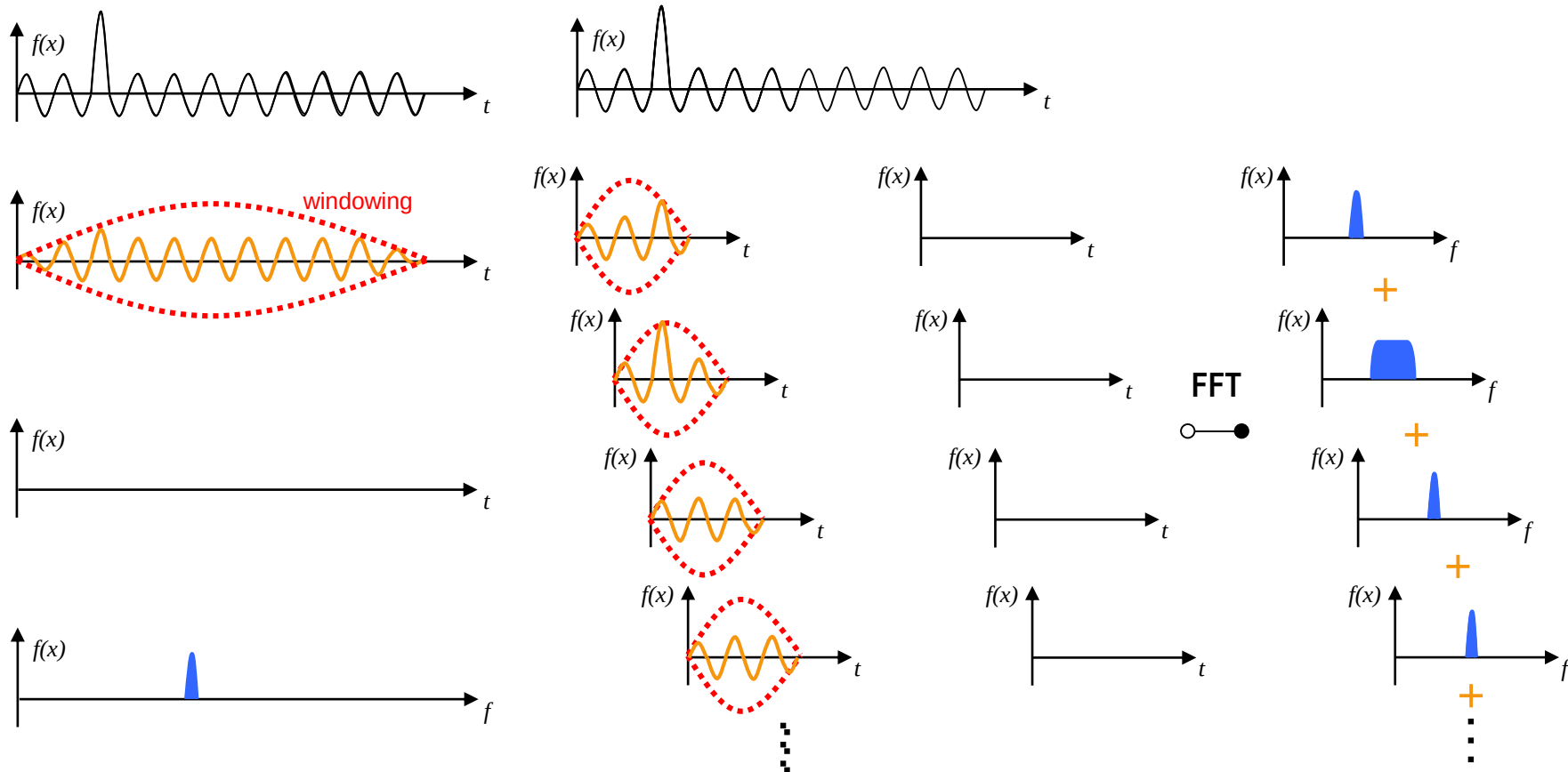
■ 重叠FFT

- 更快的处理速度更快的显示更新率
- 非常适合寻找零星/间歇性的信号细节
- 当前最新的实时频谱分析仪使用类似技术

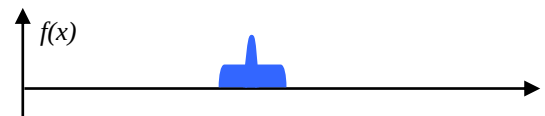


RT0独特技术—多重重叠FFT

单次FFT vs 带有重叠采样的多重FFT



多个重叠的FFT是能够看到杂散事件



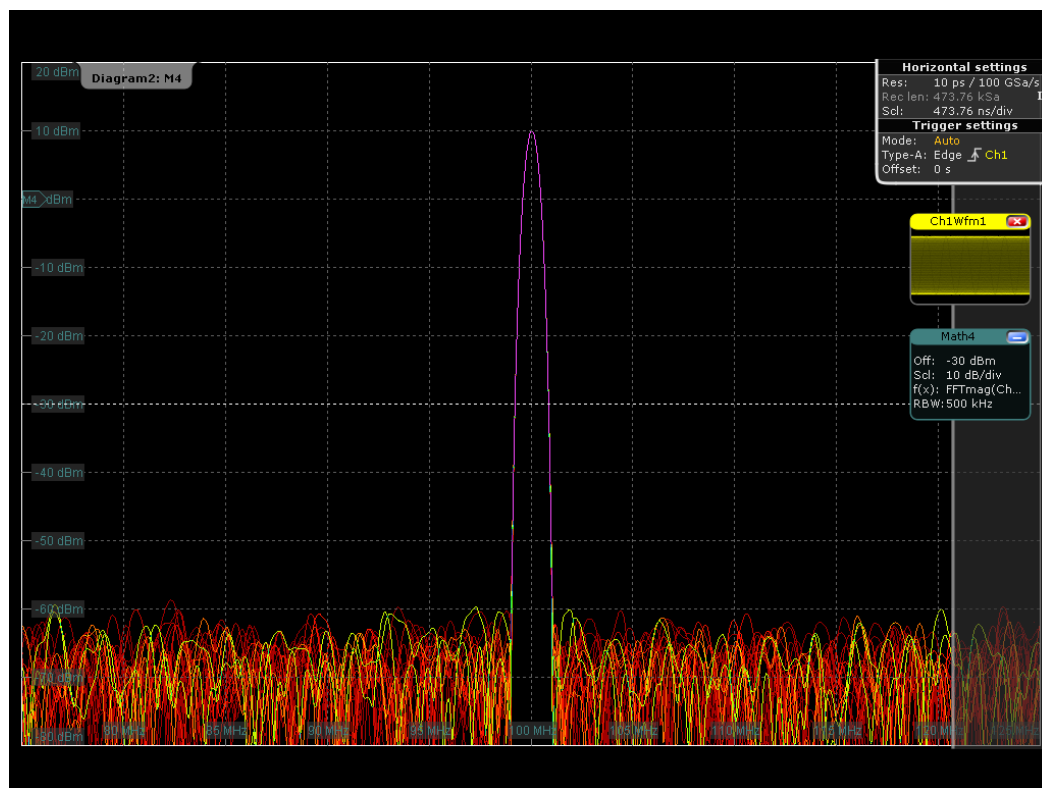
RT0独特技术—高FFT动态范围

■ 频谱分析的动态范围受一些硬件参数的严重制约：

- ADC量化误差
- ADC产生的谐波失真 ADC (as artifacts in FFT spectrum)
- 前端放大器的非线性频响
- 示波器内部的噪声源

■ RT0示波器的优秀指标：

- ENOB > 7 bits
- 业内最优秀的信号通路底噪
 - 竞争对手的1/4以下
- 通道隔离度 > 60 dB



高动态范围的硬件基础—单核10Gs/s采样芯片

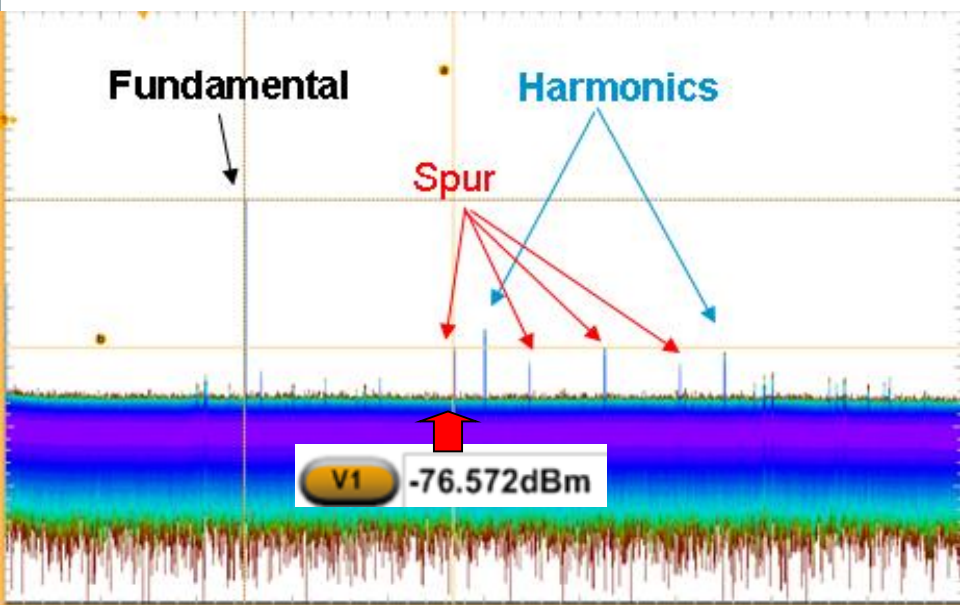
减低本底杂散

输入信号: 500 MHz正弦波, 功率电平 -25dBm

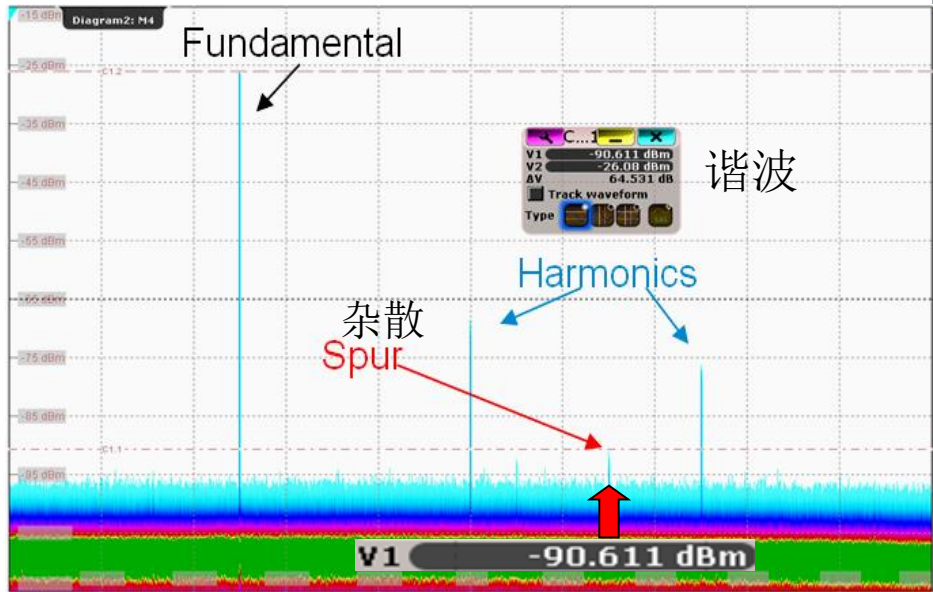
通道设置: 5mV/div & 2us/div

FFT 设置: Center Freq = 1GHz, Span of 1GHz, Resolution BW 100kHz

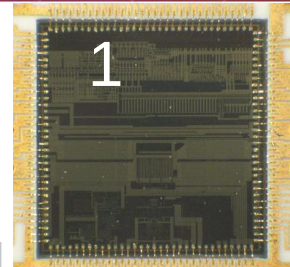
基本频率



交错10GS/s ADC



非交错10GS/s ADC



如何最大化动态范围

- 动态范围受到硬件参数制约
- 在硬件条件不变时，减少频谱分析范围可以提高频谱动态范围：

- 使用抽取放大

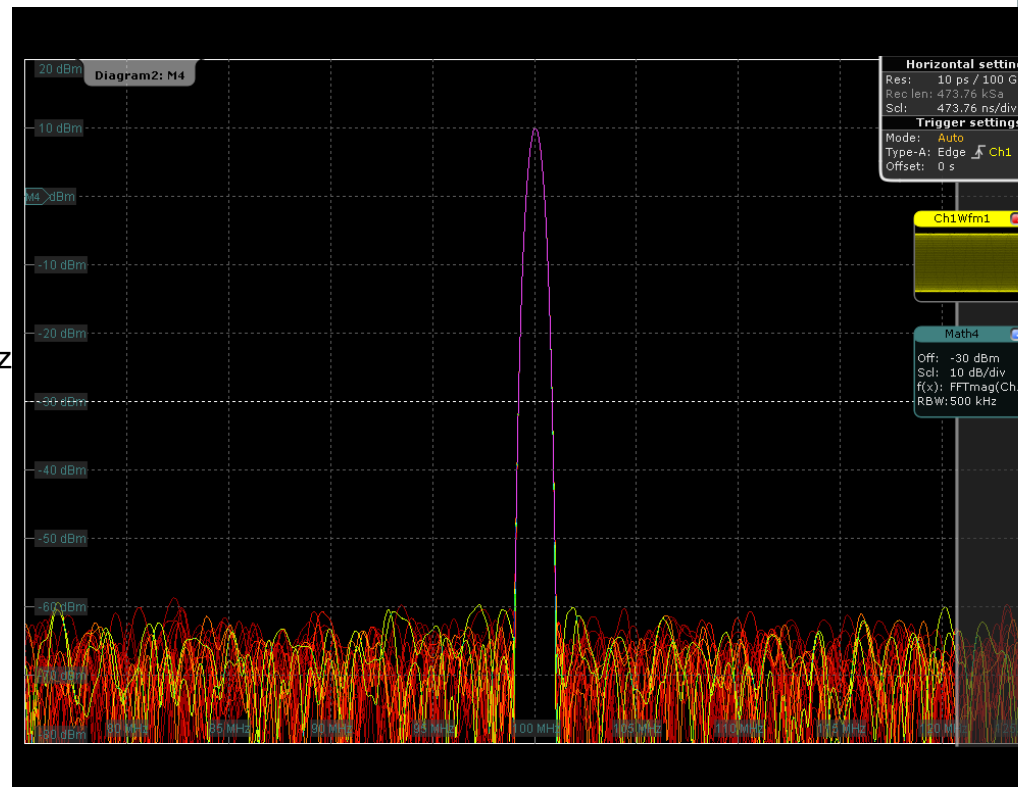
Example:

Sample rate = 10Gs/s Frequency Span = 10 MHz

In bits this means:

$$\text{DecimationGain} = \frac{\text{SampleRate}}{\text{FrequencySpan}} = \frac{10\text{Gs/s}}{10\text{MHz}} = 1000$$

$$\text{Gain}_{\text{Bits}} = \log_2(1000) = 9.9$$



如何最大化动态范围

如何降低噪底提高动态范围？

- 1) 对时域波形进行平均可提高动态范围：

Example:

256 averages lowers the noise floor about 24 dB

$$\Delta N_{fl} = 3dB * \log_2(N_{avg}) = 3dB * \log_2(256) \cong 24dB$$

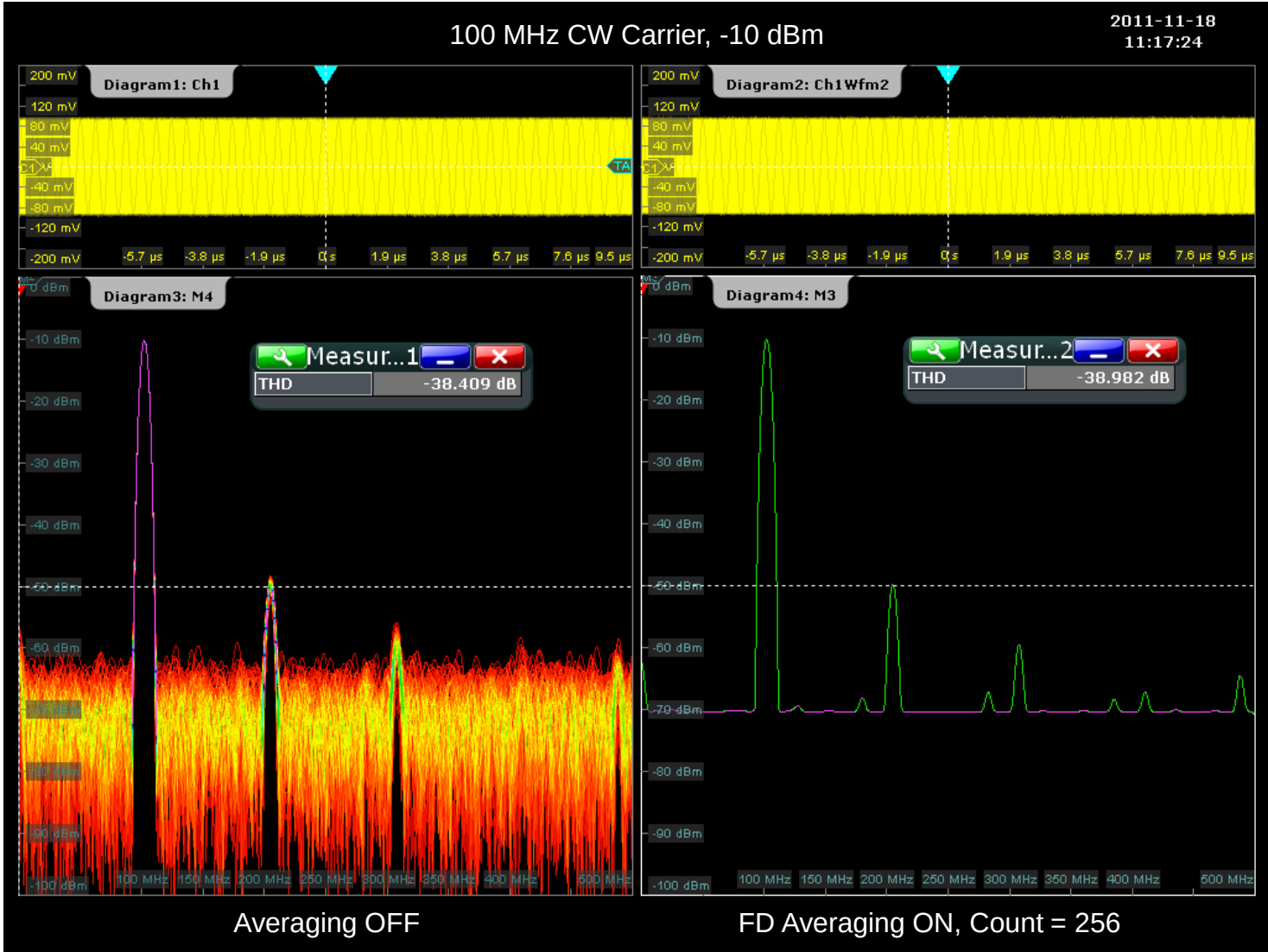
- 2) 增加存储长度可提高动态范围.

↑ Memory depth = ↓ Magnitude of asynchronous noise = ↑ Dynamic range

Example:

x2 Memory depth = -3 dB of noise

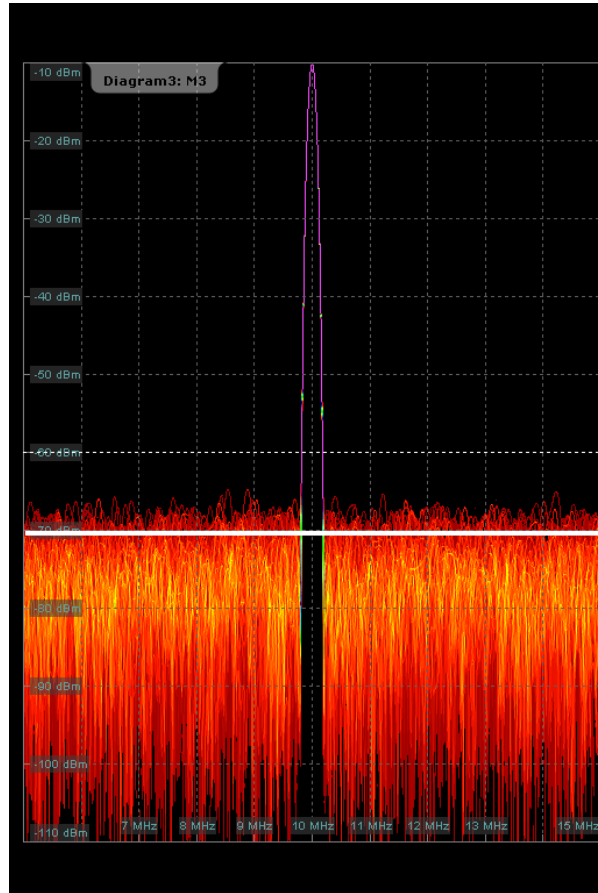
最大化动态范围-平均



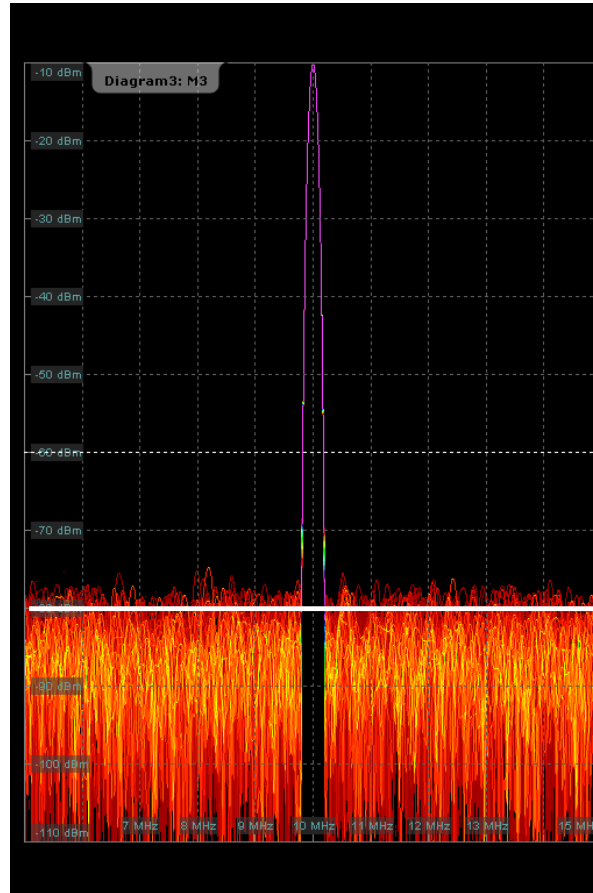


最大化动态范围 - 存储深度

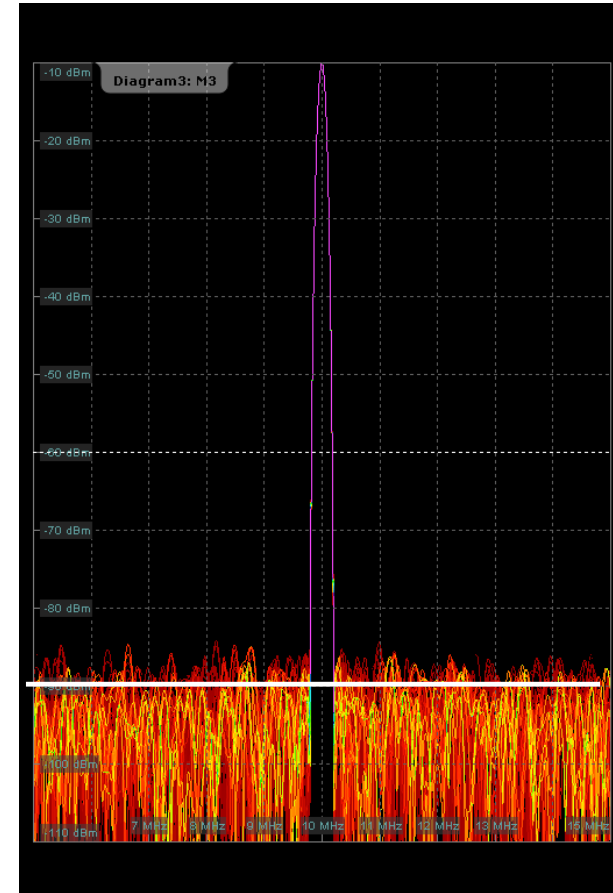
10 MHz CW Carrier, -10 dBm



Record Length: 1 kSa



Record Length: 10 kSa

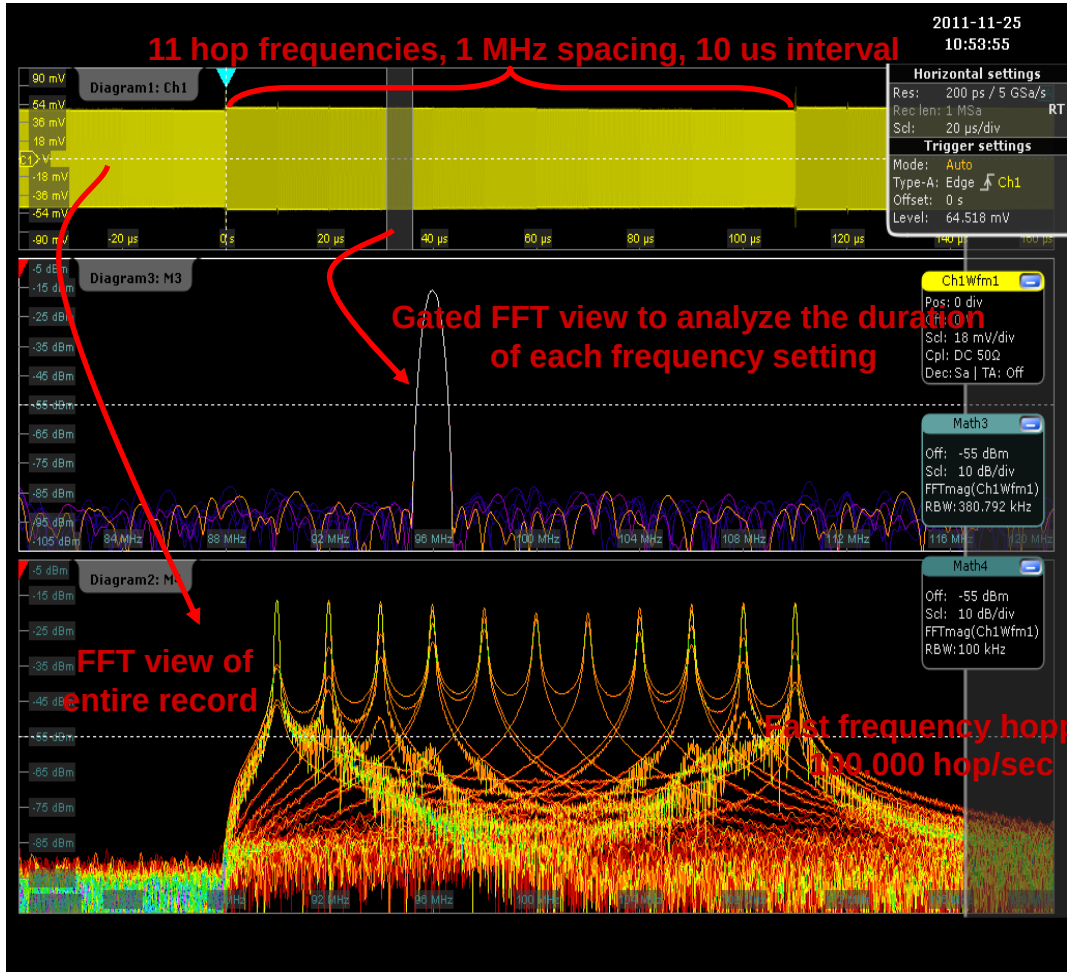


Record Length: 100 kSa



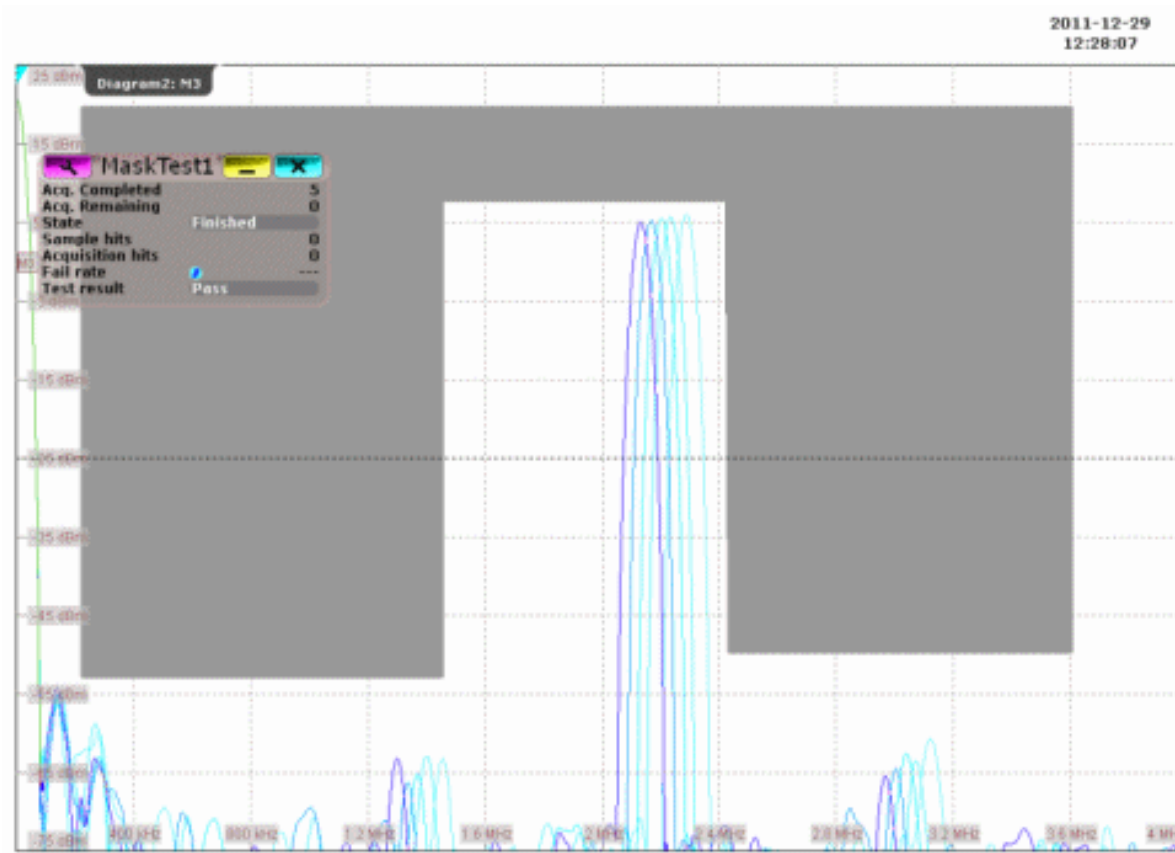
RT0独特频谱分析技术—选通FFT

- 全部采集波形的频谱包含过多的频谱信息
- 通过选通窗口限定，可以观测特定时刻信号的频谱
- 选通窗口可在整个信号窗口内移动



RTO独特技术—模板测试（频率模板触发）

- 工程师可以使用模板测试，以“捕获”频谱违规现象
- 与时域波形配合，可分析造成异常频谱的原因



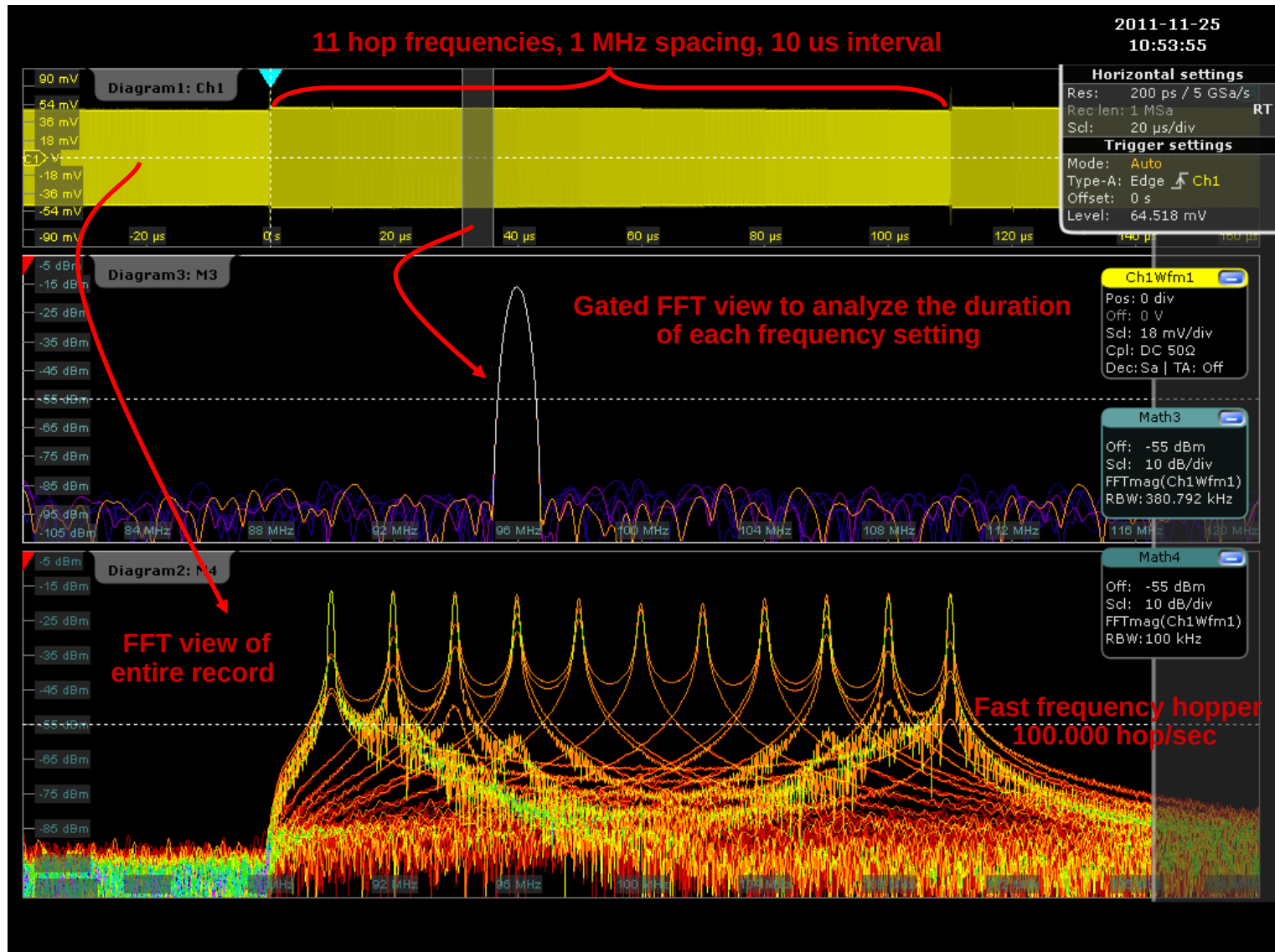
Actions on event	
Beep	☒ No action
Stop acq	☒ On violation
Print	☒ No action
Log date	☐ No action
E-mail	☐ No action
Save Wfm	☒ On successful completion

RT0示波器高级频谱分析功能的应用

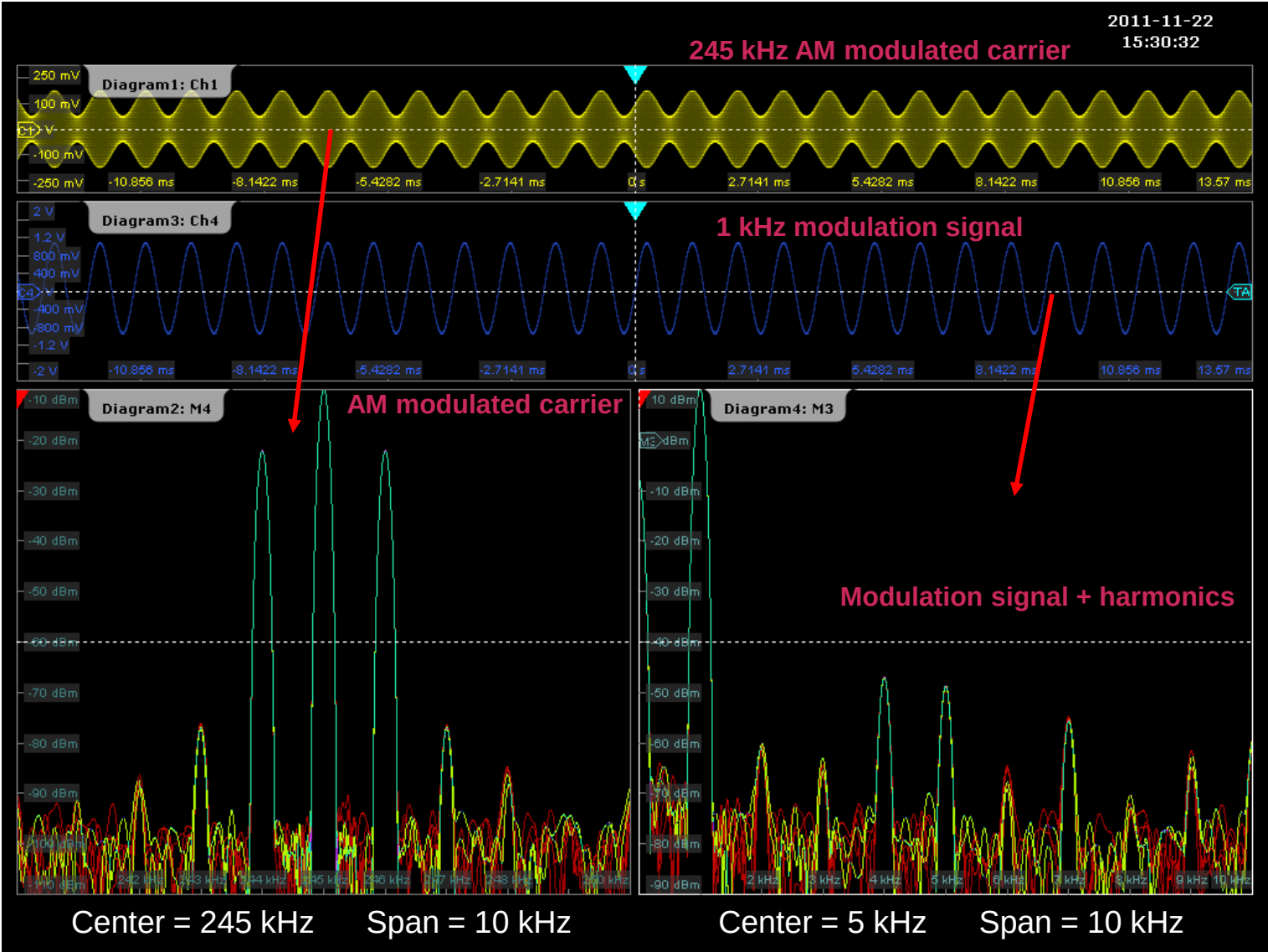
- 普通频谱测量
- 选通频谱测量
- 调制参数测量
- EMI 预测试和诊断
- 时域和频域混合信号测量
- 数字设计故障诊断
- 脉冲测量

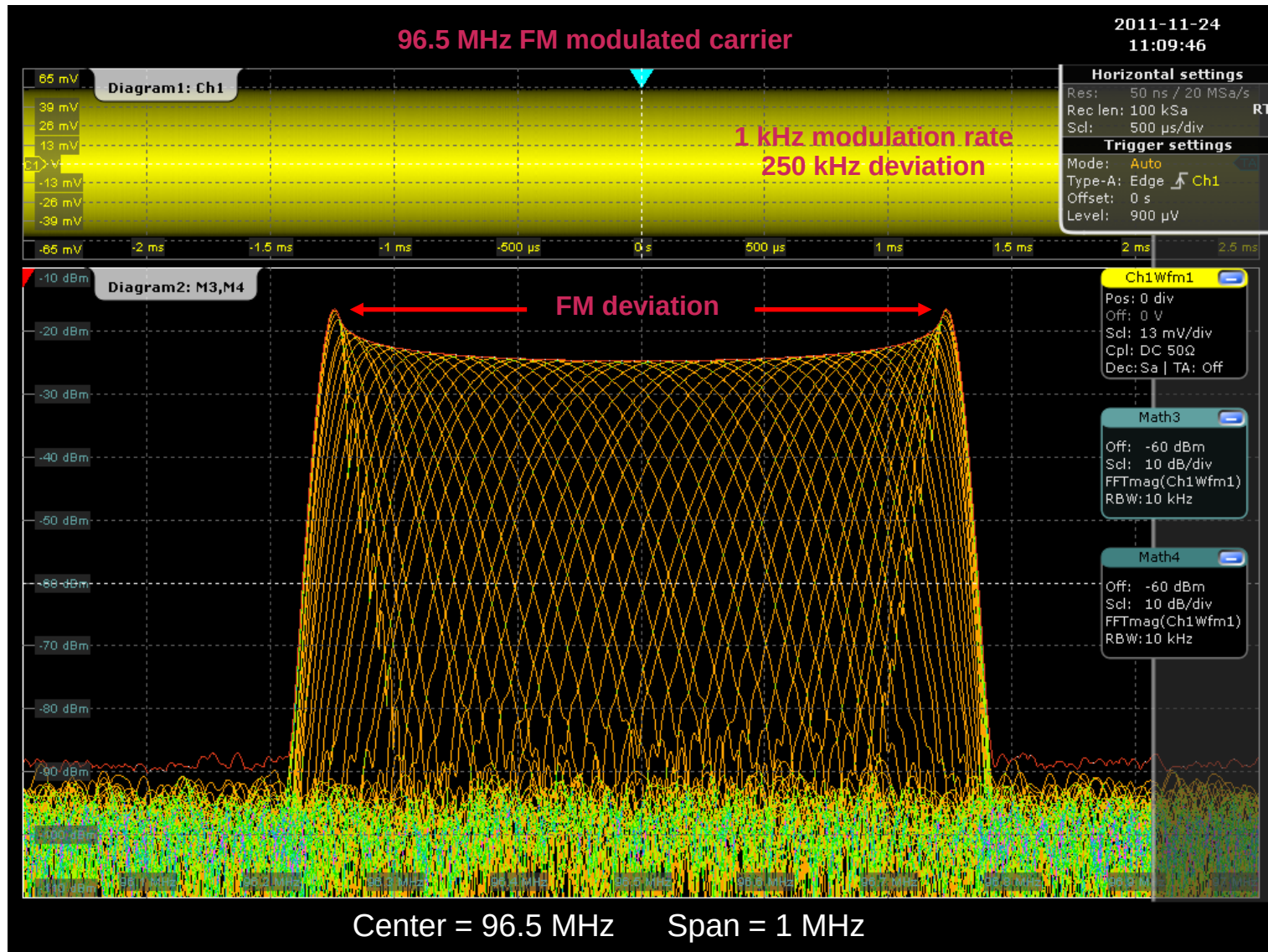


选通的频谱测量

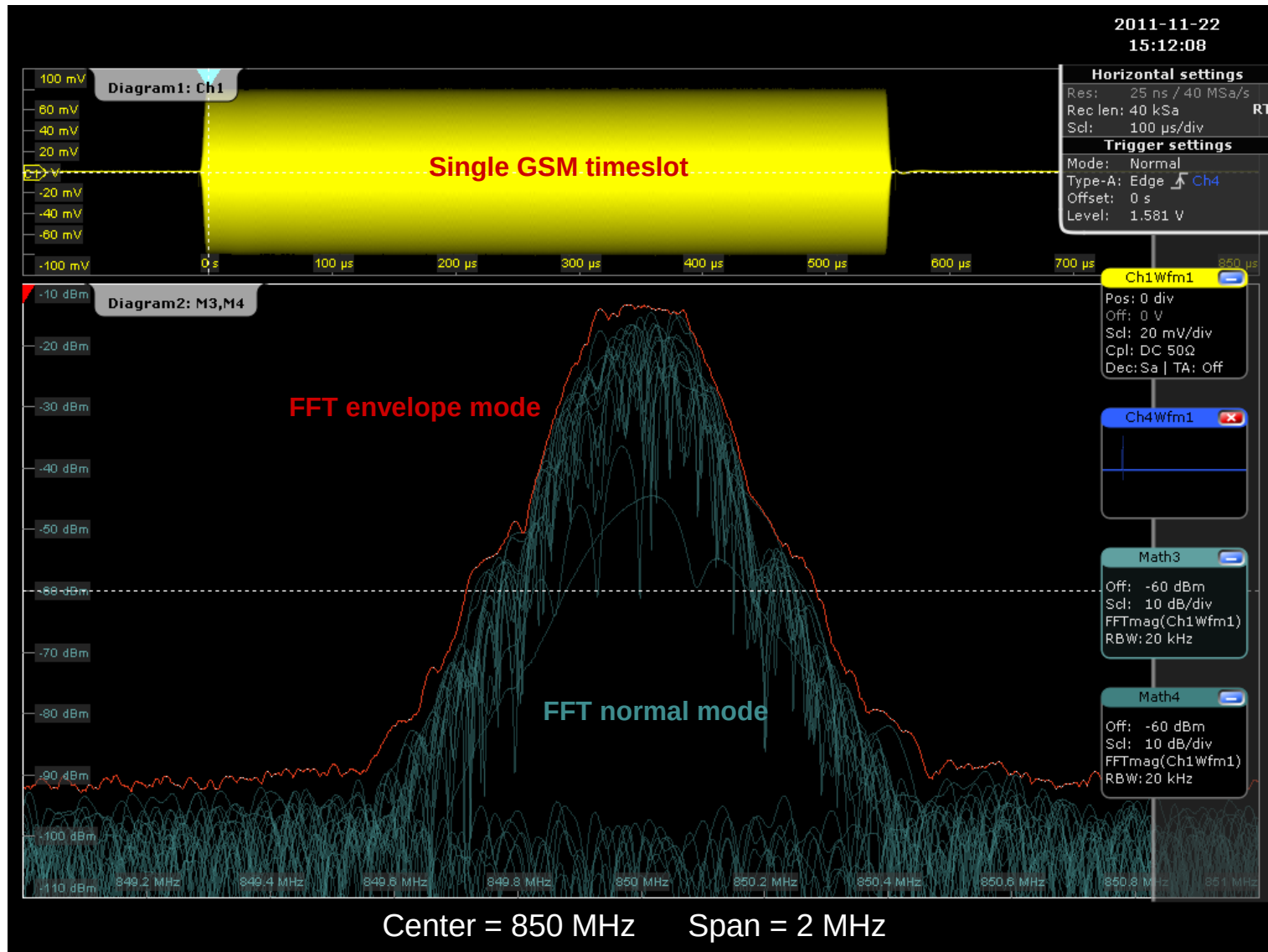


调制测量 - AM





调制测量 - GSM burst

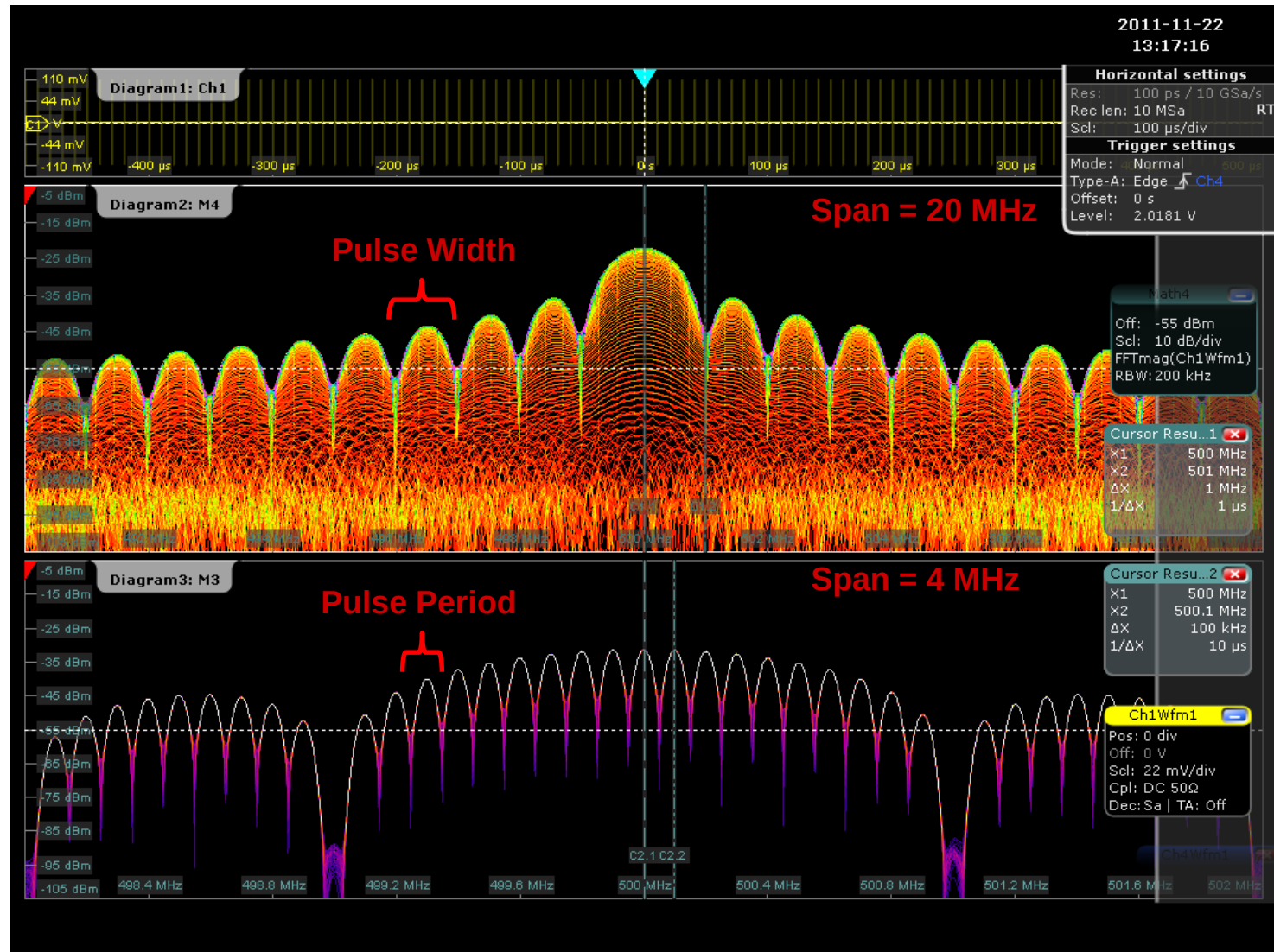


脉冲参数测量

500 MHz Carrier

Pulse period 10 us

Pulse width 1 us

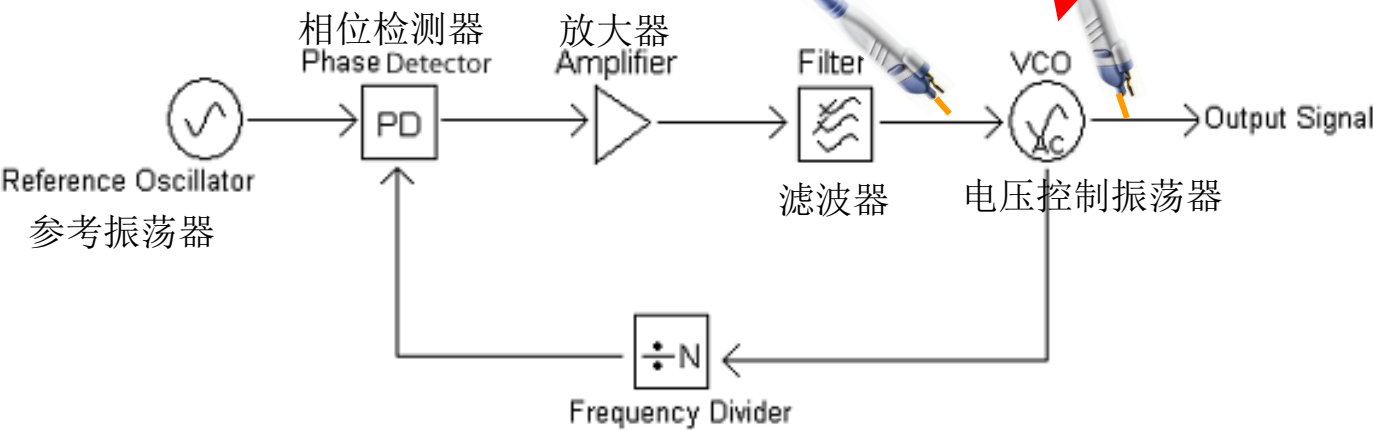


多域联合调试—锁相环电压控制振荡器特点

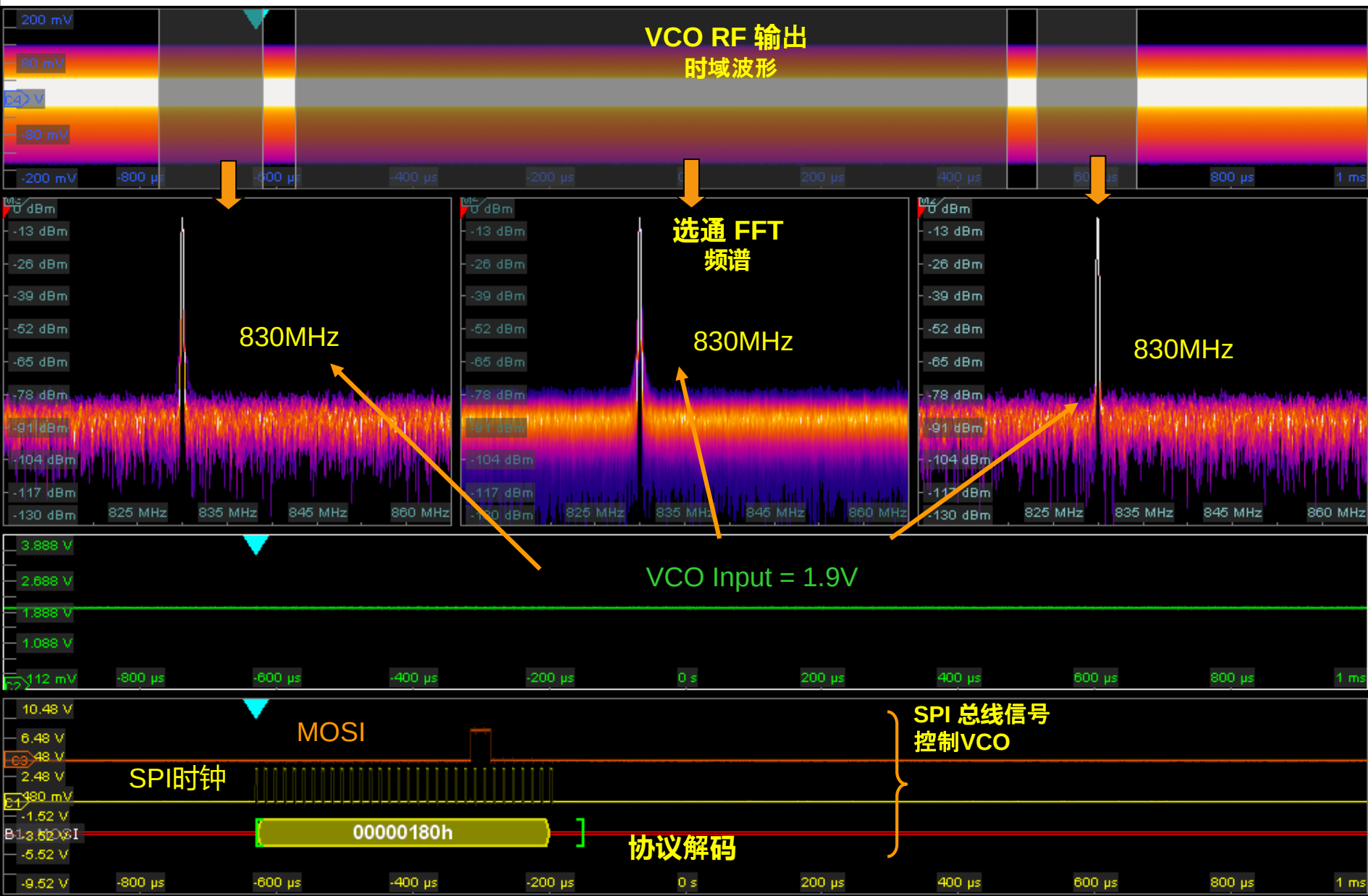
I 压控振荡器输出频率受输入电压控制



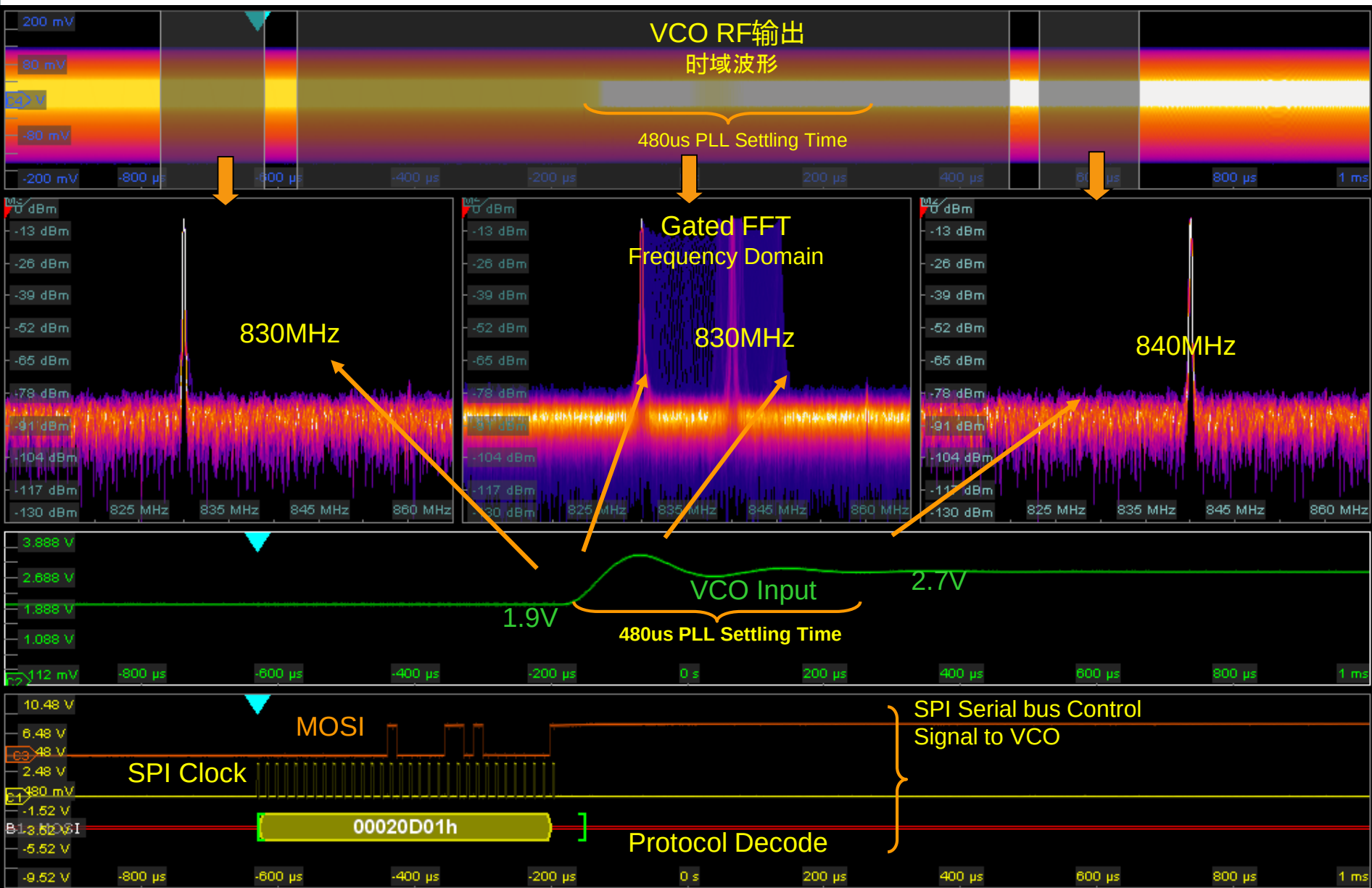
测试锁相环VCO的输入和输出信号



多域联合调试 - 检测PLL锁定时间 #1

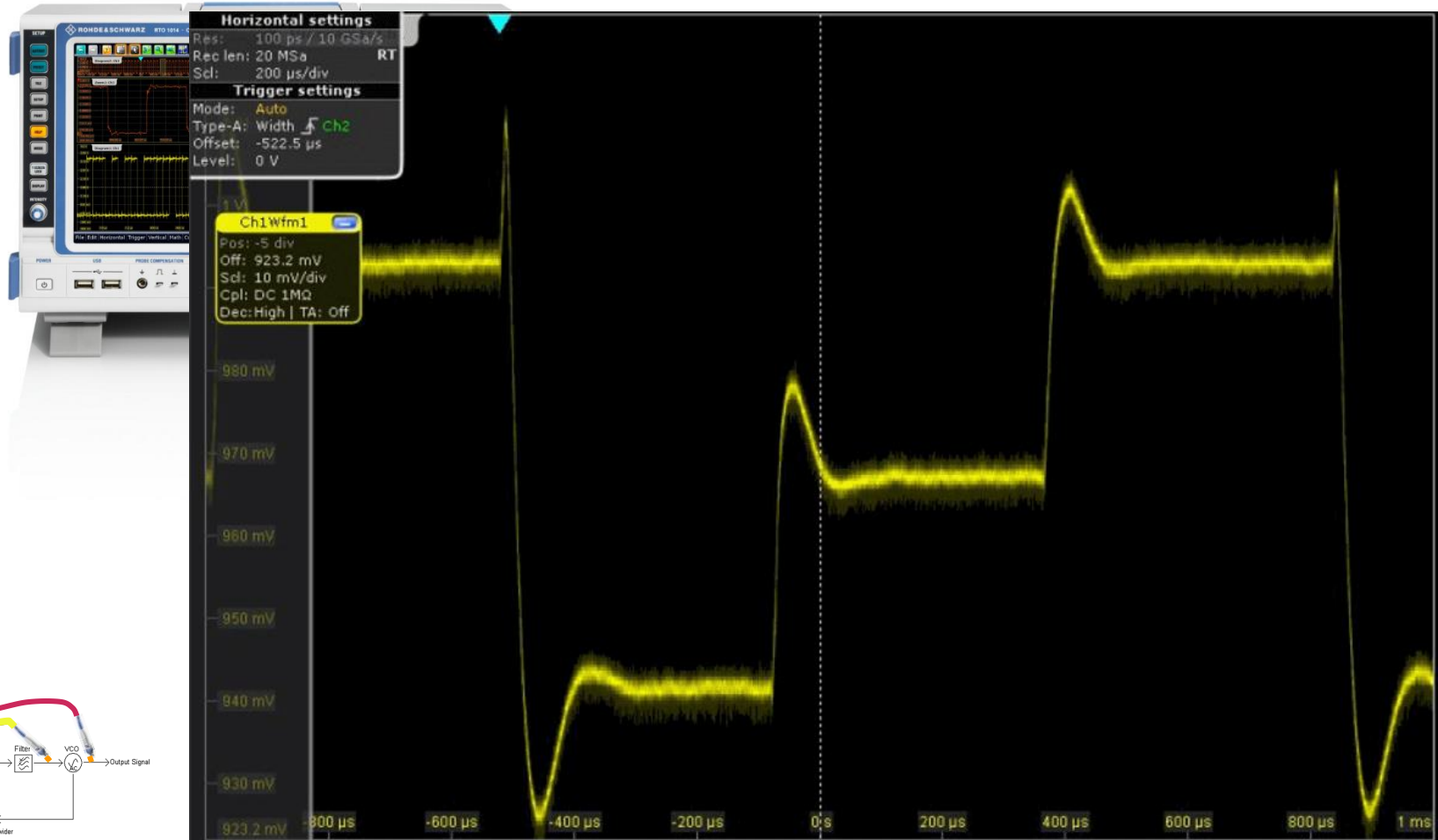


多域联合调试 - 检测PLL锁定时间 #1



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

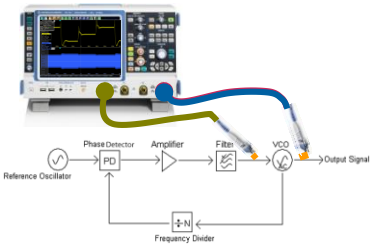
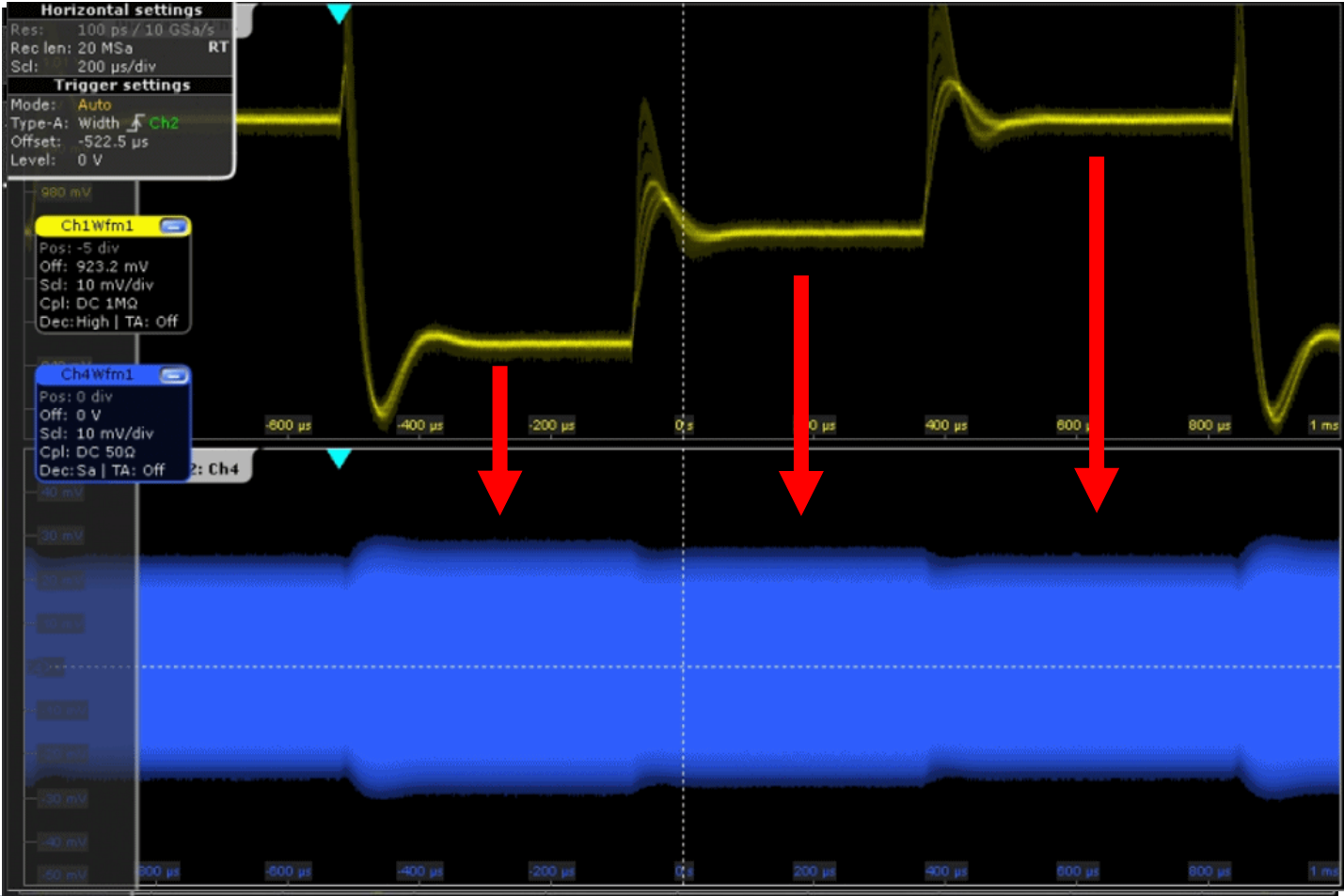
通道1信号是输入到VCO的多级阶梯电压



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

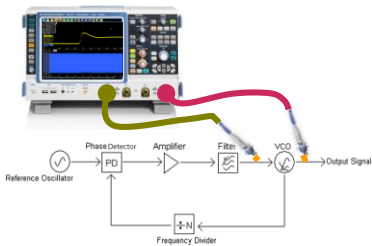
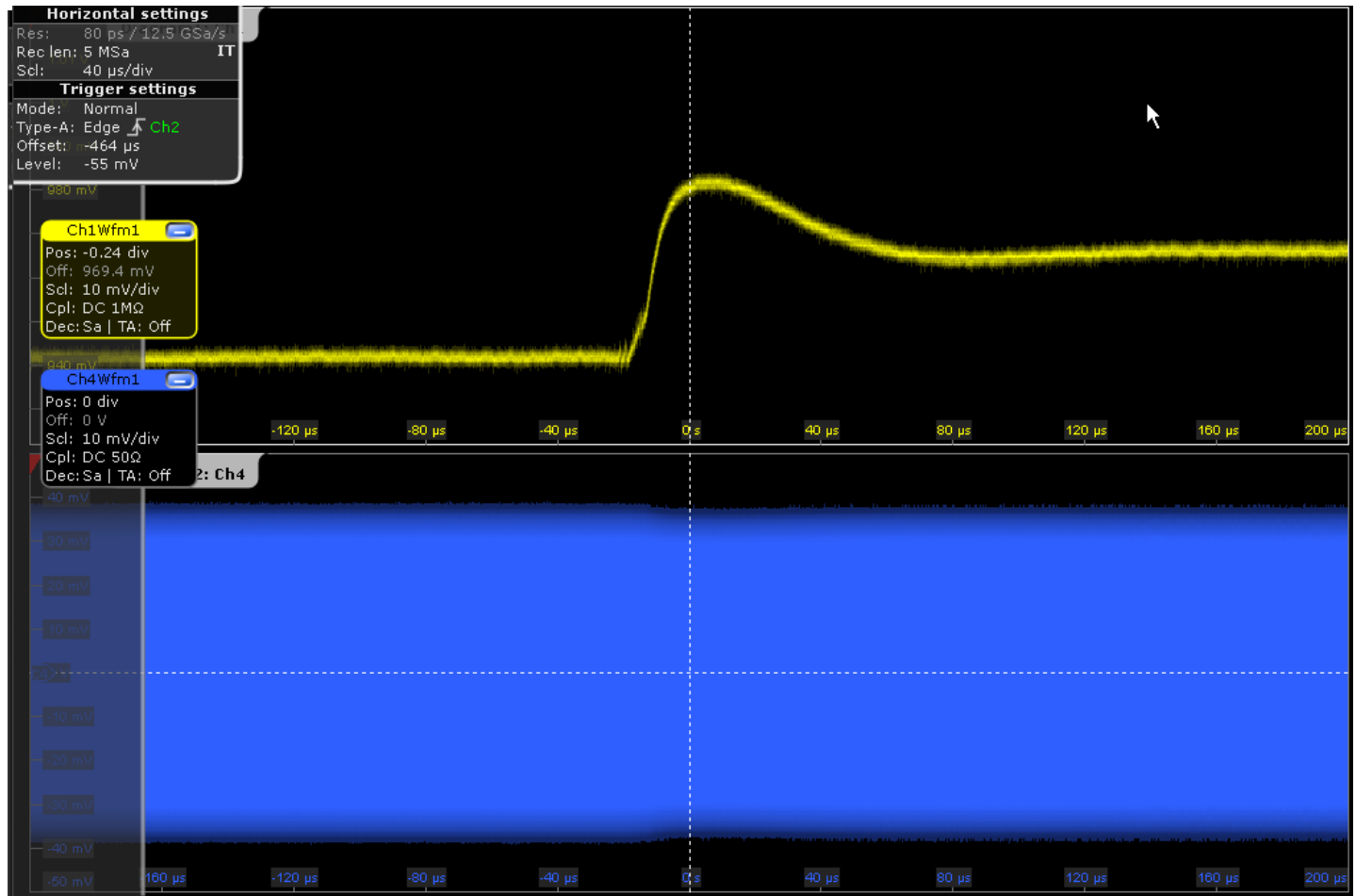
通道4连接VCO的输出信号

注意通道1的输入电压信号发生变化时通道4的VCO输出也相应变化



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

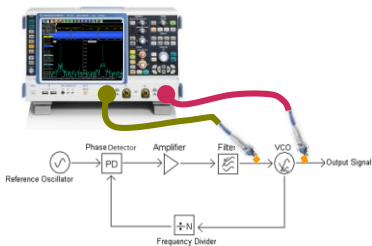
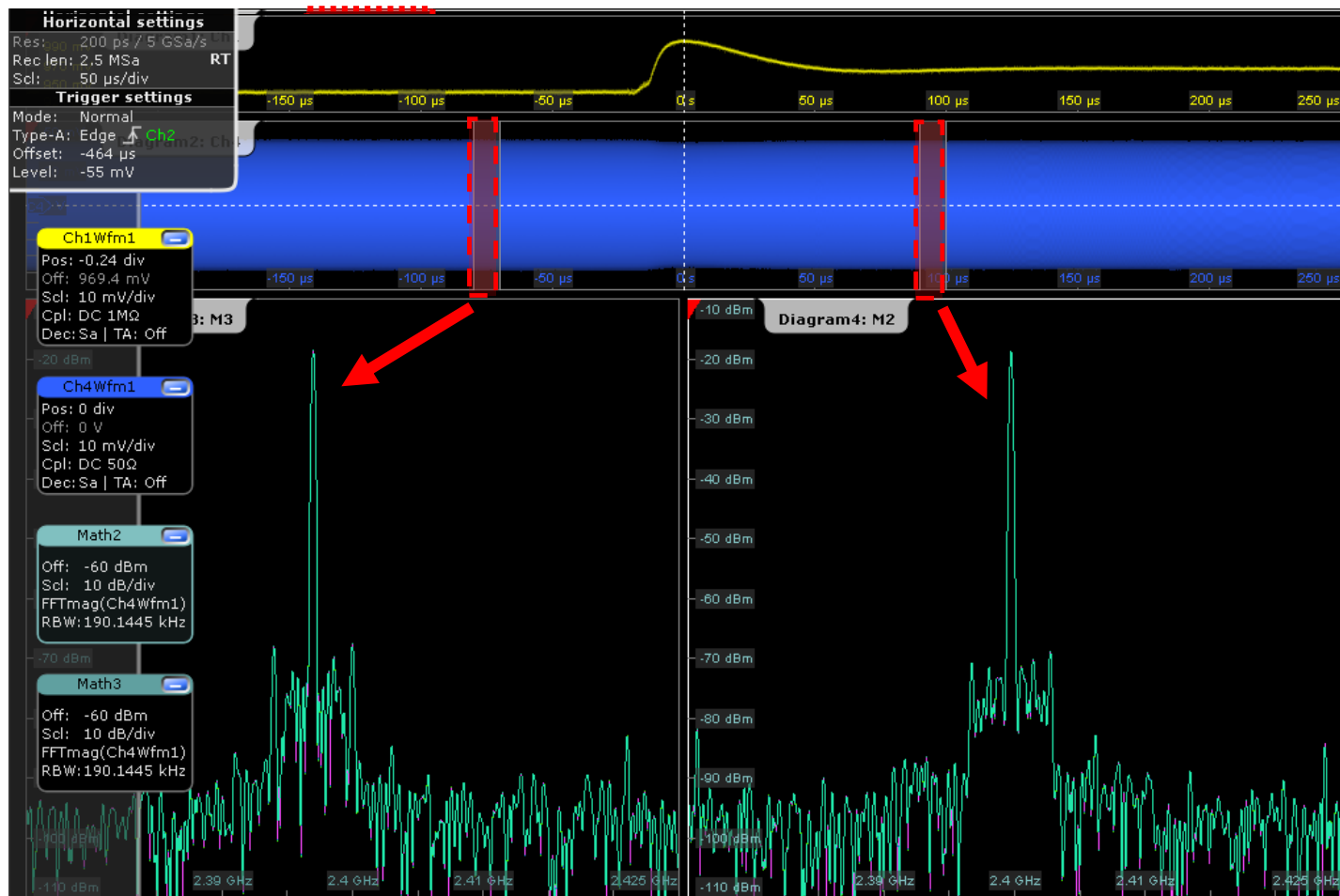
■ 为清晰观察变化过程，扩展时基设置



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

VC0 在不同电压输入条件下应该输出不同频率

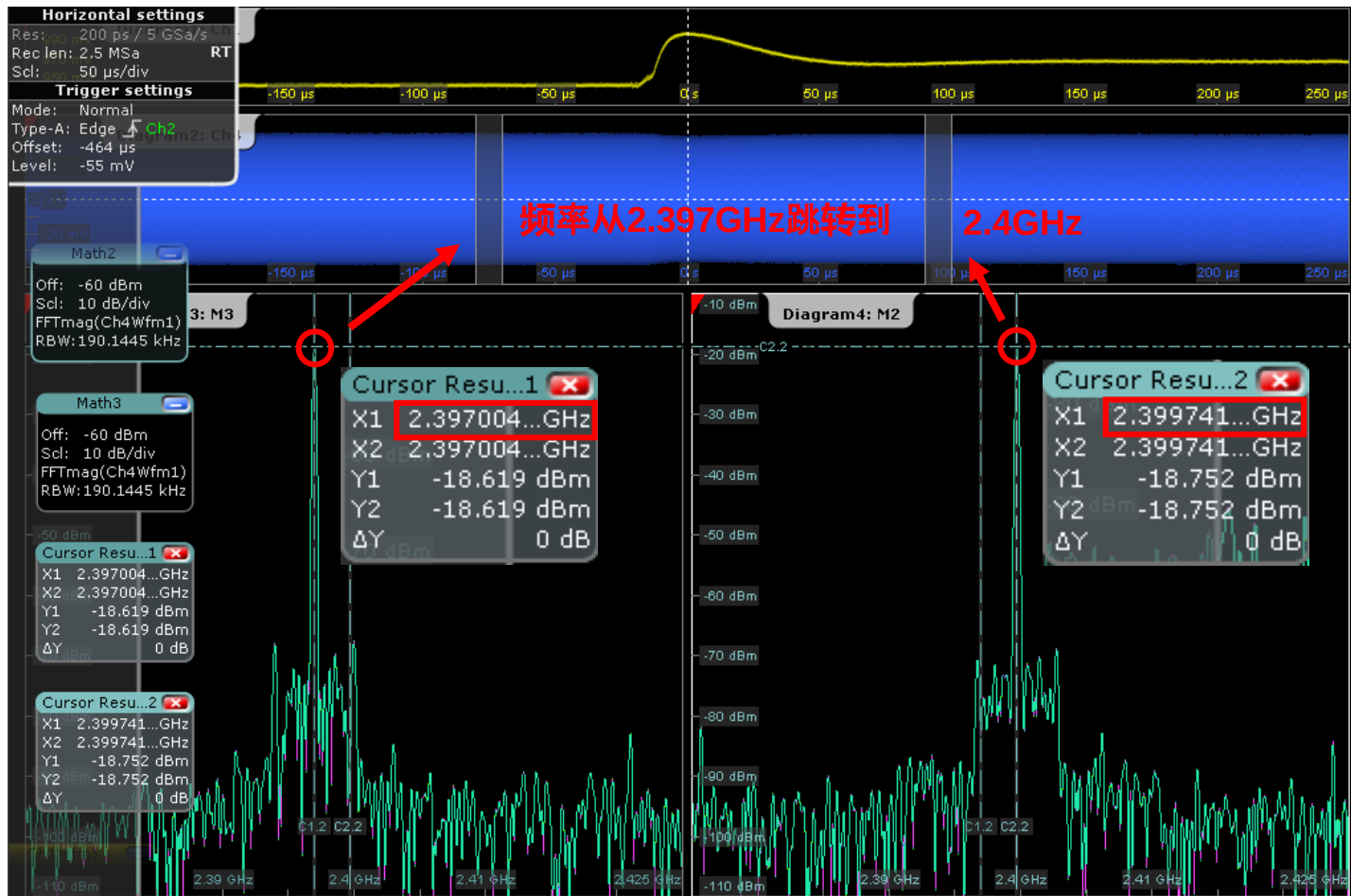
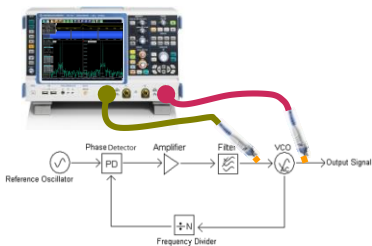
选通FFT功能
可以在时域信
号的不同部分
选择波形分析



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

用户可以利用光标，标记频率点

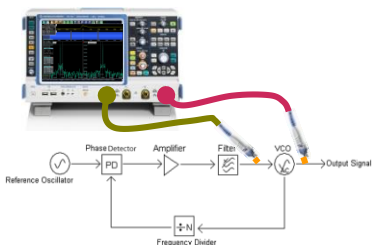
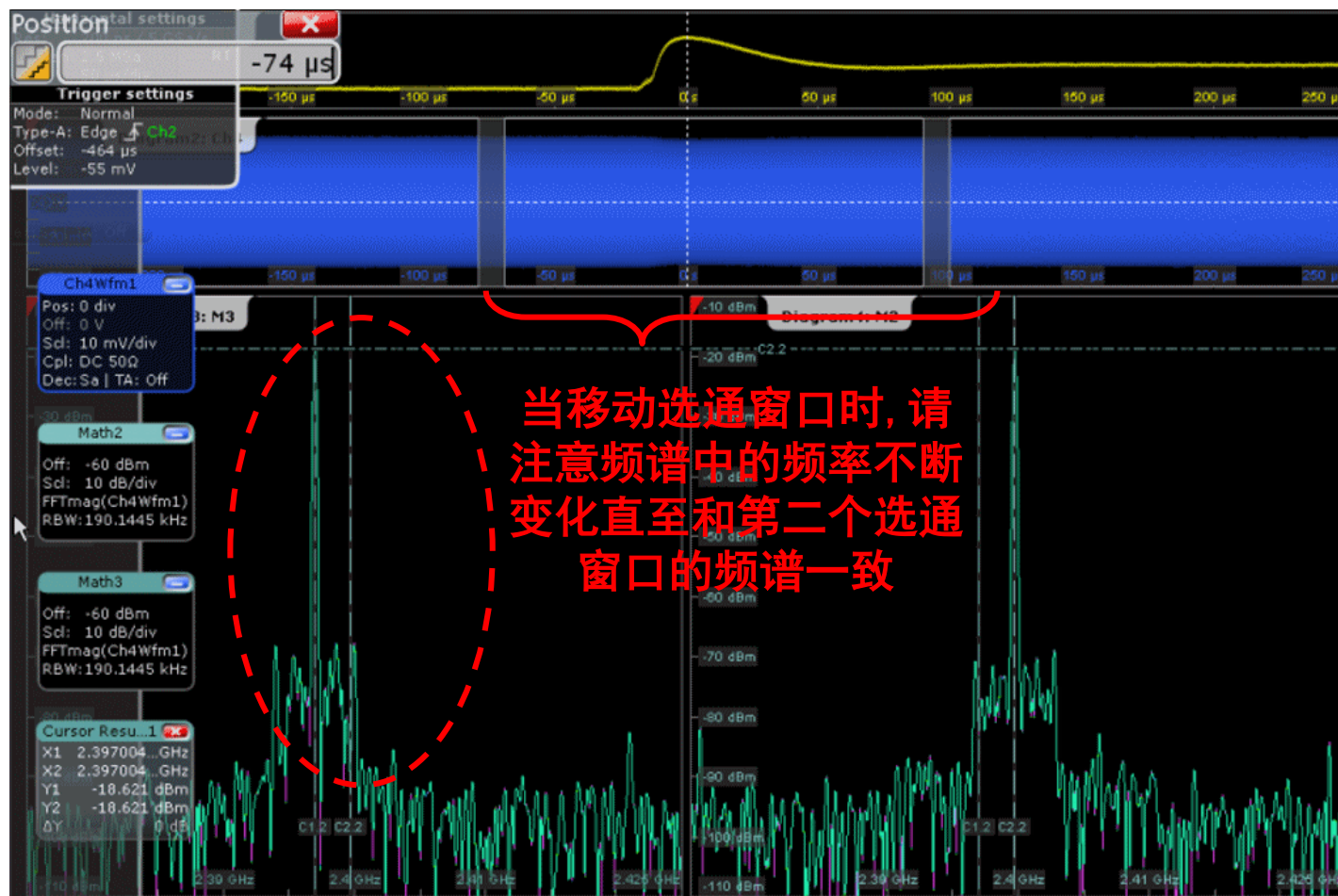
光标功能可以帮助用户标记频率峰值更好地理解频率变化过程



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

在时域中滚动选通窗口可以了解频率变化过程

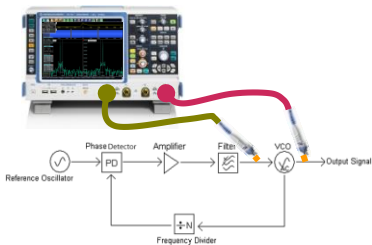
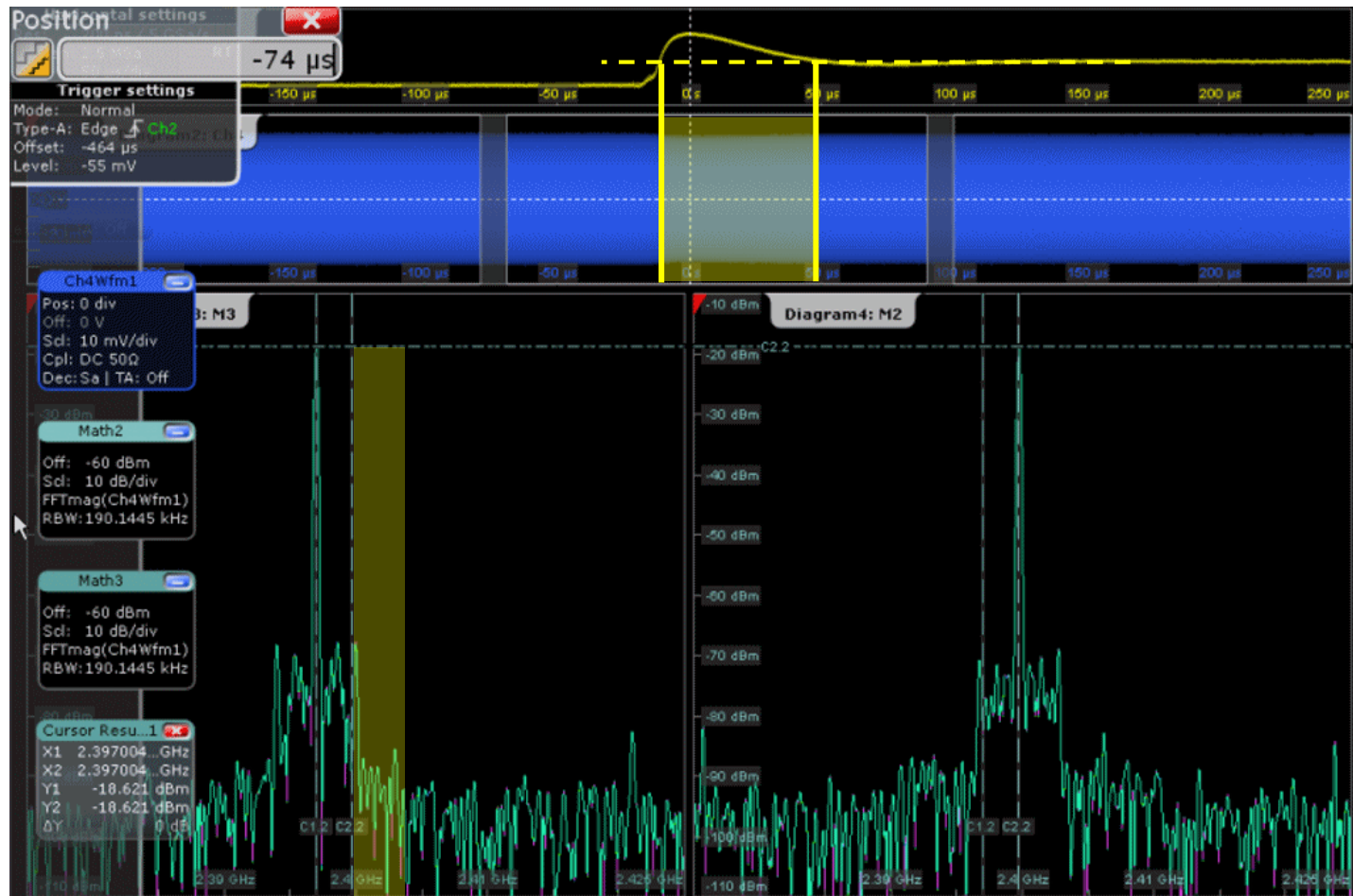
滚动选通窗口
可以观察在时
域的不同部分
信号的频谱是
如何变化的



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

■ 当输入电压有过冲时，VCO输出频率也有相应的过冲

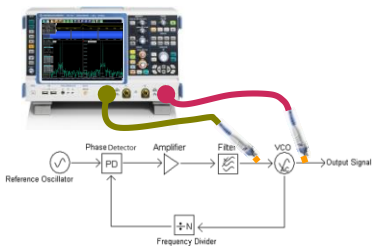
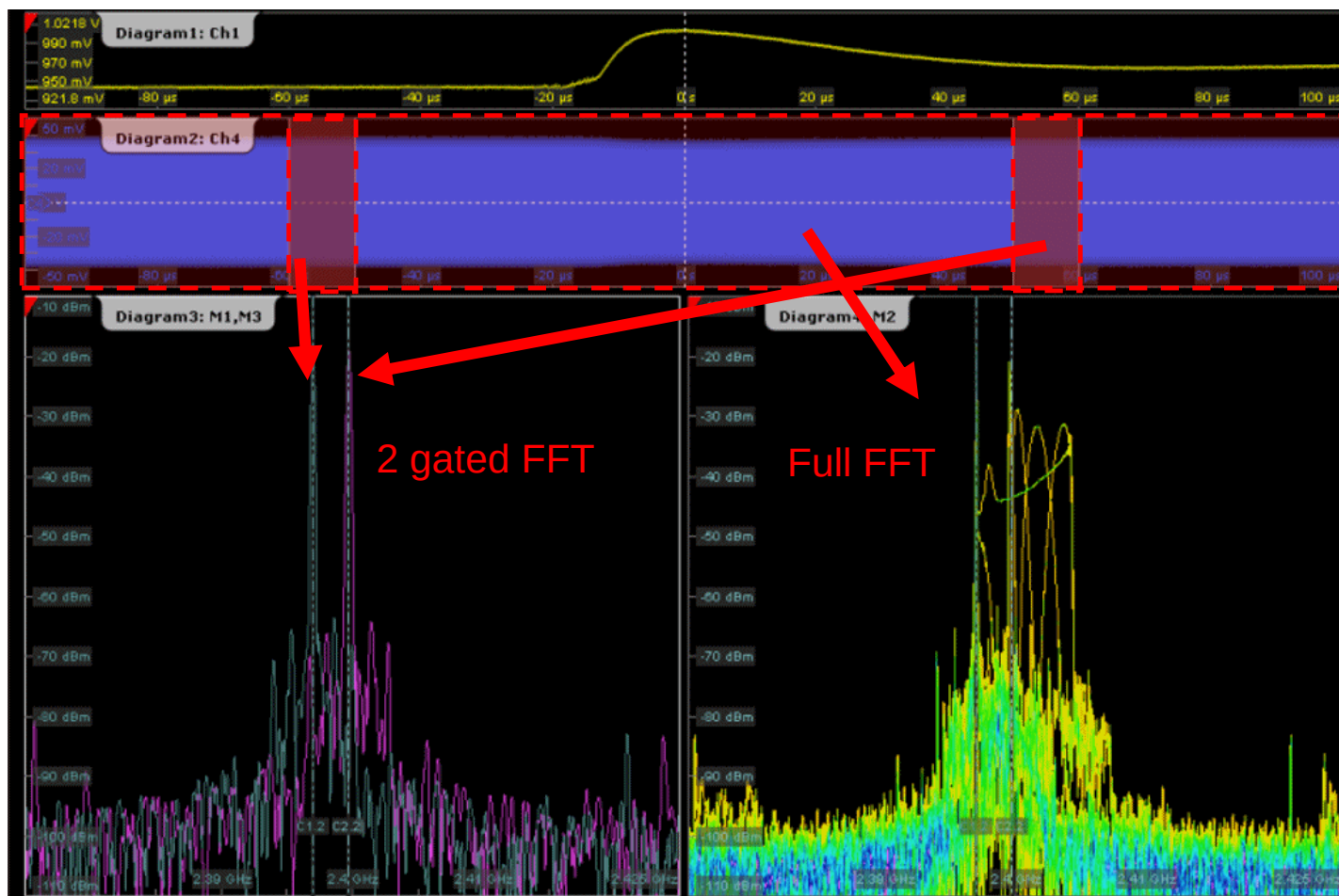
用户可以观测到在时域中发生了什么问题可以影响到频域!!!



多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

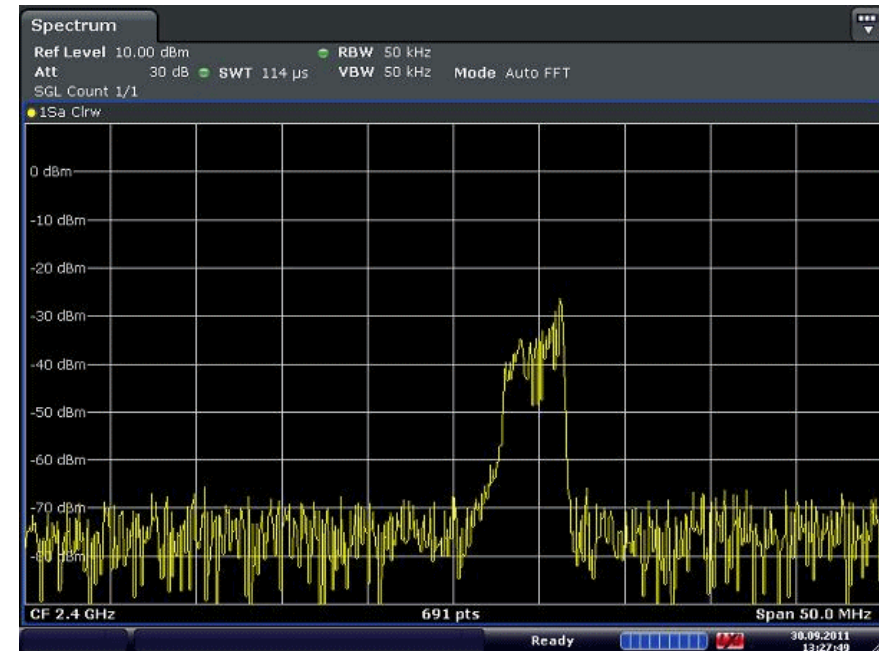
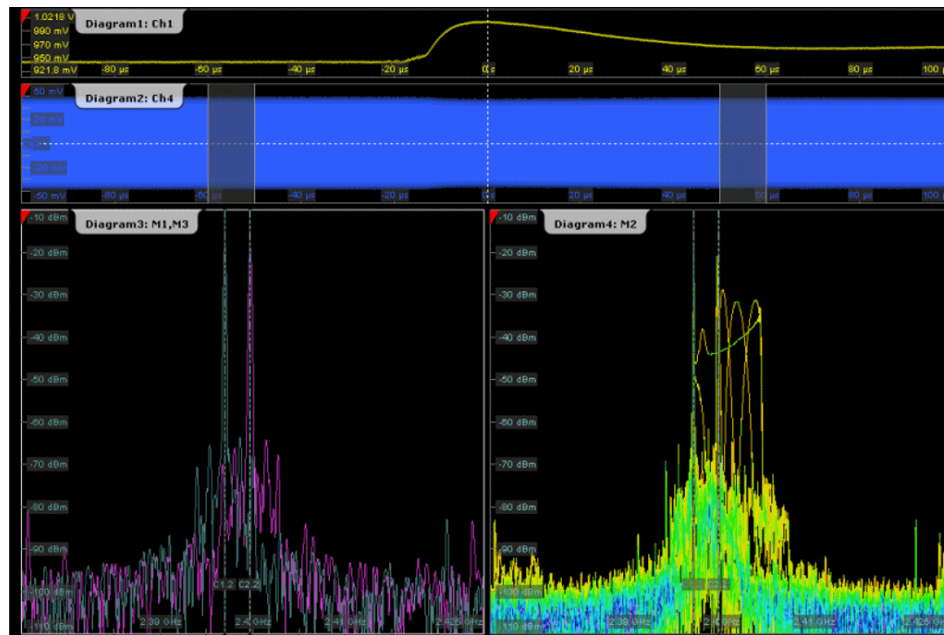
■ 通过使用多窗口，选通FFT和智能标线用户可以观察到全过程

多重显示可以
将信号并列对
比

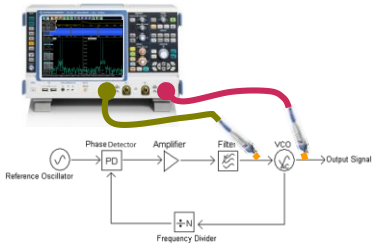


多域联合调试—分析锁相环中VCO的特性

I 与相同设置的频谱分析仪对比



Date: 30.SEP.2011 13:27:50



多重FFT显示配合时域波形可以有更直观的观测

嵌入式系统的EMI 分析诊断和预测试

EMI 诊断和预测试

- 丨 查找重点EMI问题具体位置
- 丨 捕获器件上电瞬间的EMI问题
- 丨 判定EMI干扰源的类型和原因
- 丨 确定开关电源的发射频点和功率
- 丨 测定信号的高次谐波发射

丨 所需设备

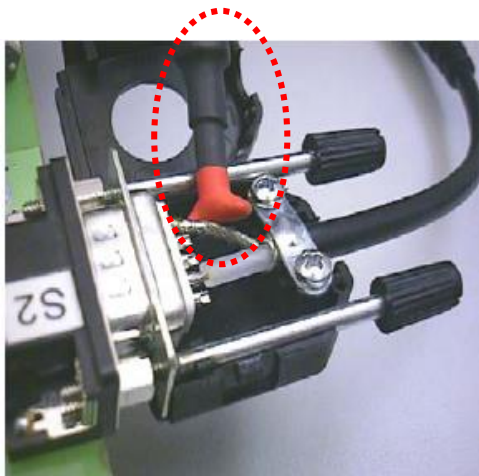
- 丨 具有高级频谱分析功能的示波器（如RT0系列示波器）
- 丨 近场探头（如HZ-15）



EMI 分析诊断实务

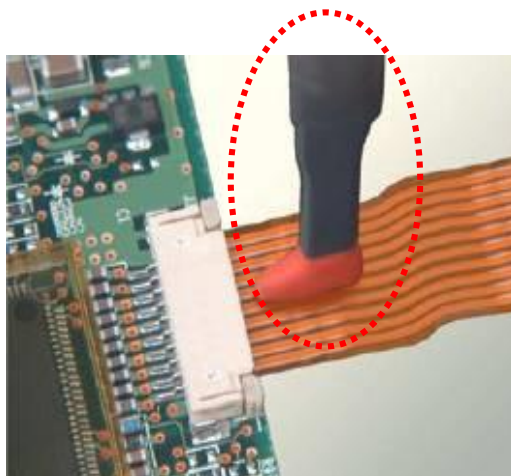
电场探头

Electric field Probe



磁场探头

Magnetic field Probe



位置探测



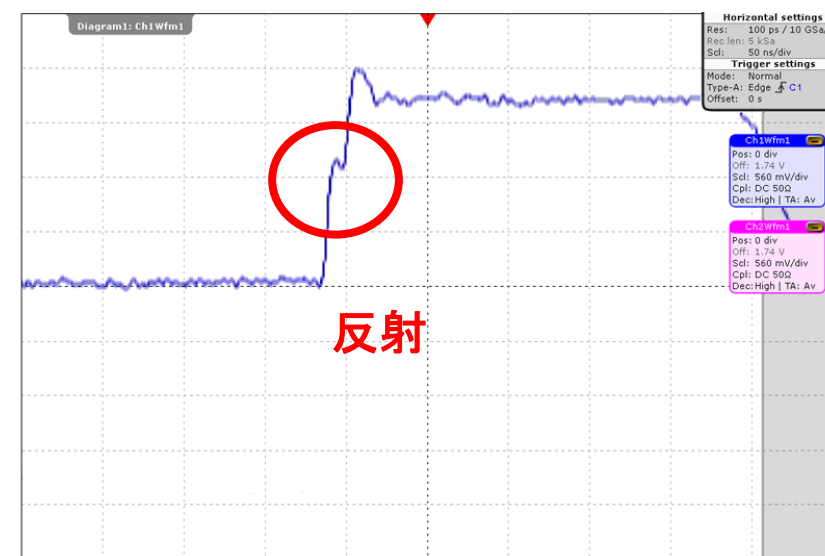
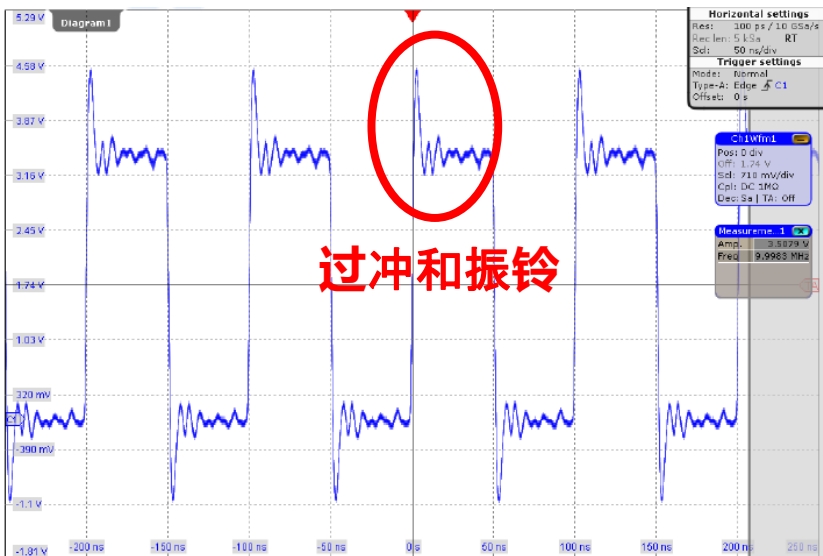
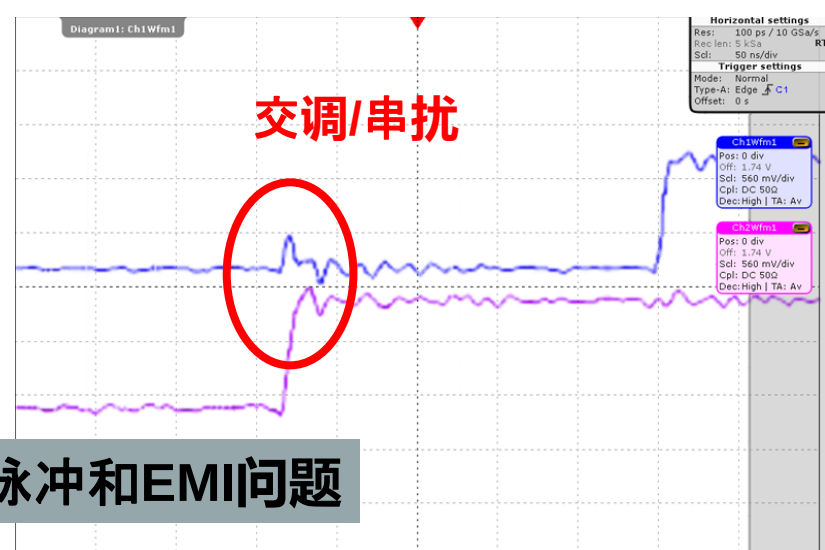
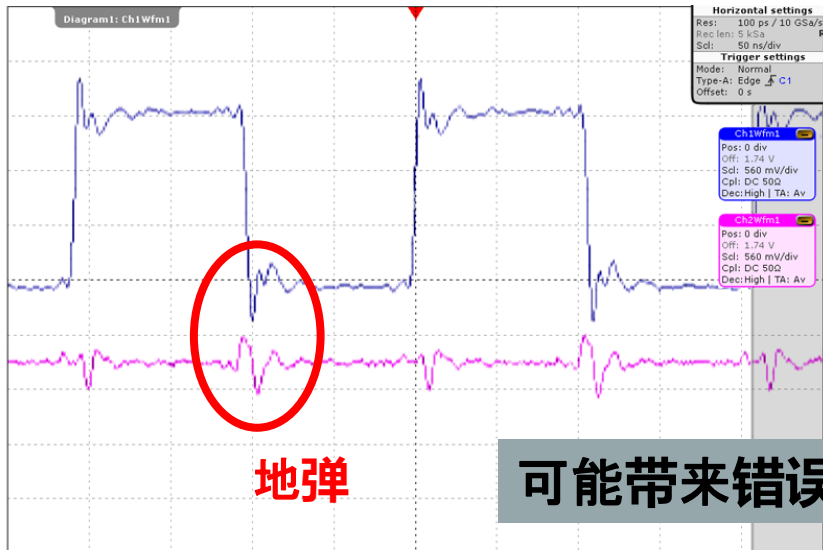
■ 电磁干扰故障分析

- DUT检测出由于EMI问题可能引起的问题， 查找出测出被测电路中的EMI干扰源

■ 查找电磁干扰的薄弱点

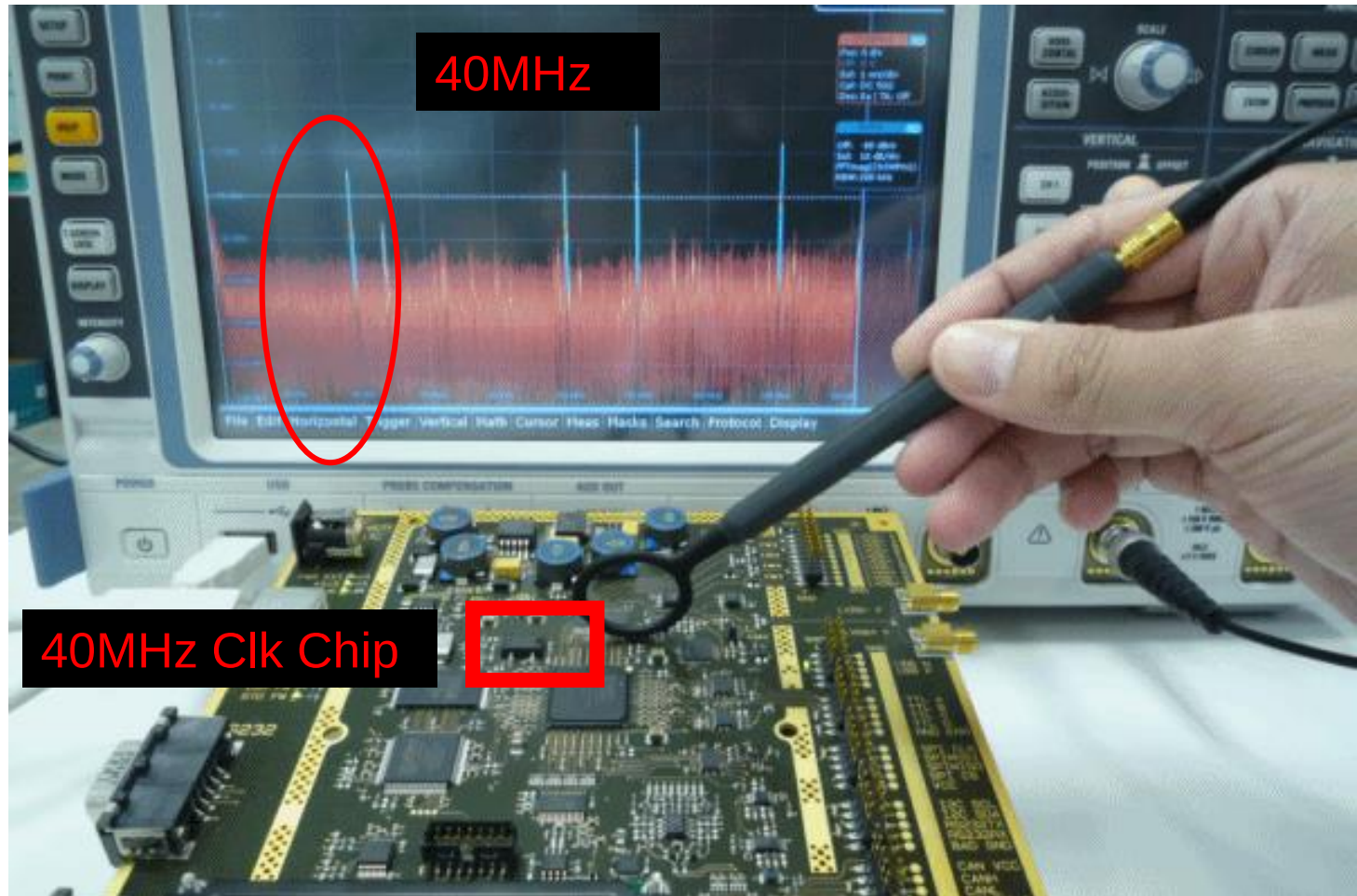
- 注入EMI信号， 发现可能出现问题的薄弱点

PCB布线连接产生的信号完整性问题



使用近场探头找出电磁干扰源

当近场
探头接
近时钟
芯片时
，
40MHz
频点及
其谐波
明显升
高



开关电源EMI排查实例 - 输出电压噪声谱



开关电源调试

MOFET 开关频率

- 高频谐波表明有信号从低通滤波电路泄露

MOFET开关频率

- 高频谐波表示泄漏 通过低通LC滤波器的电源供应器

Horizont

Res: 500

Rec len: 800

Scl: 40 μ s/div

Trigger settings

Mode: Auto

Type-A: Edge ∇ Ch1

Offset: 0 s

Level: 1.41566 V

Ch1Wfm1

Pos: -3.16 div

Off: 744 mV

Scl: 200 mV/div

Cpl: DC 1M Ω

TA: Off

dBm

Scl: 9.8 dB/div

FFTmag(Ch1Wfm1)

RBW: 500 kHz

颜色灰度显示了事件发生的频率

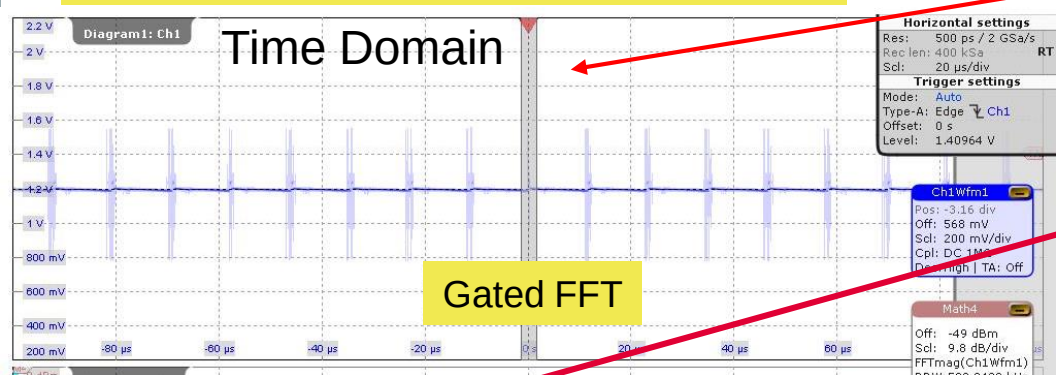
Less Occur 较少发生的事件

Frequently Occur 更多发生的事件

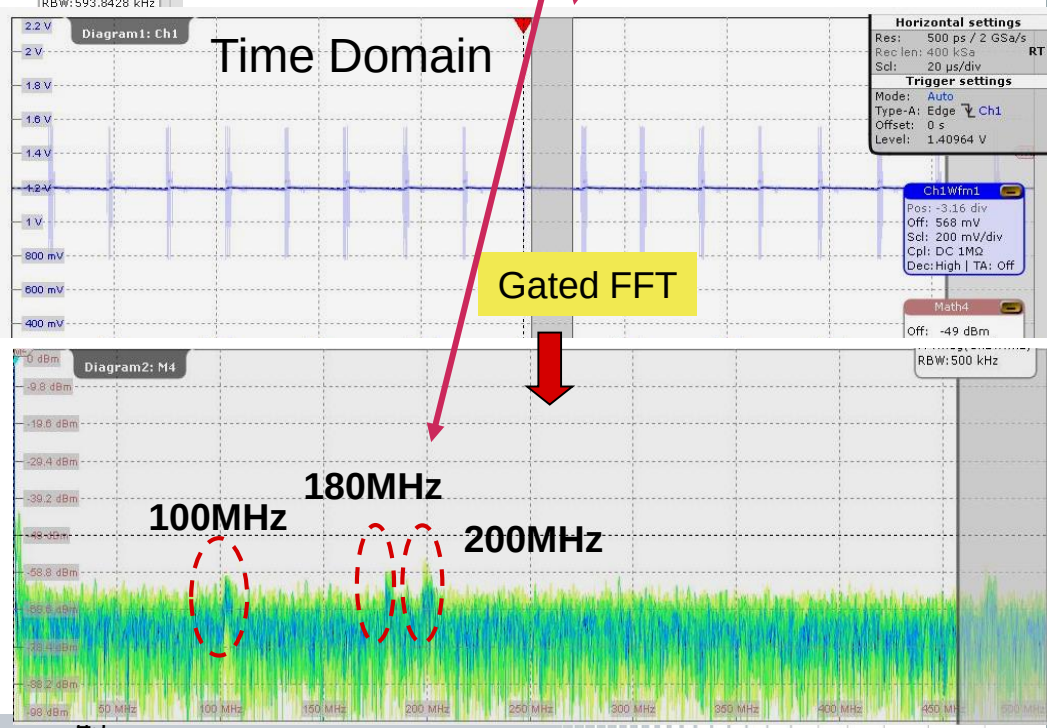
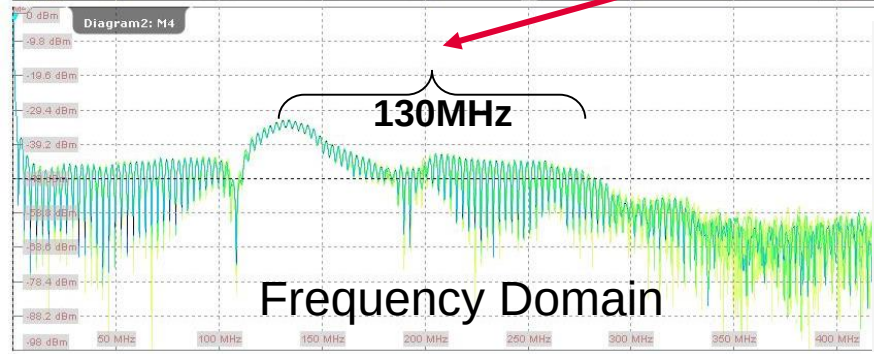
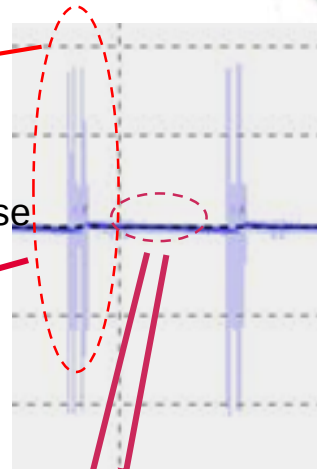


开关电源EMI 排查实例 - 选通FFT定位噪声干扰源

使用门控 FFT定位的噪声干扰源

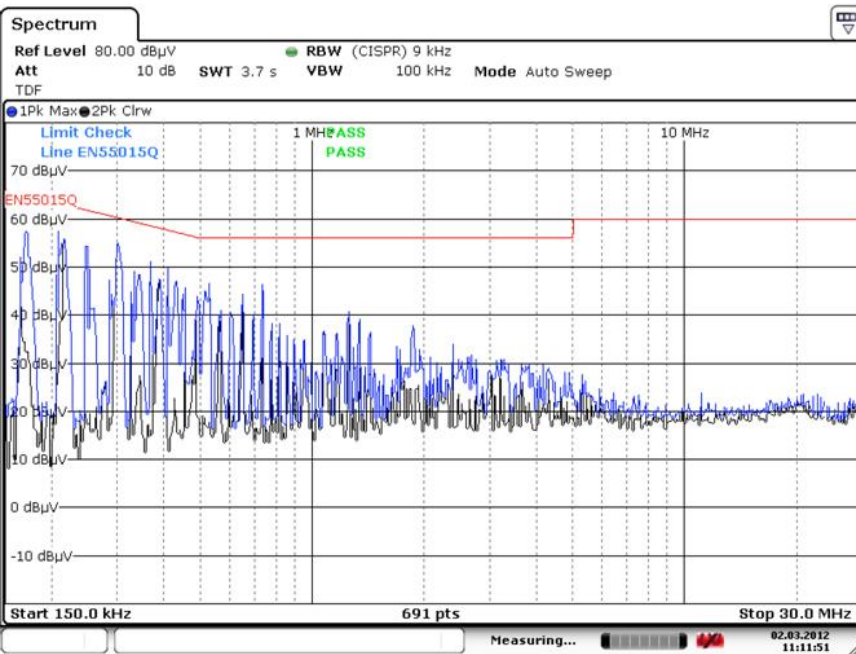


400ns Pulse

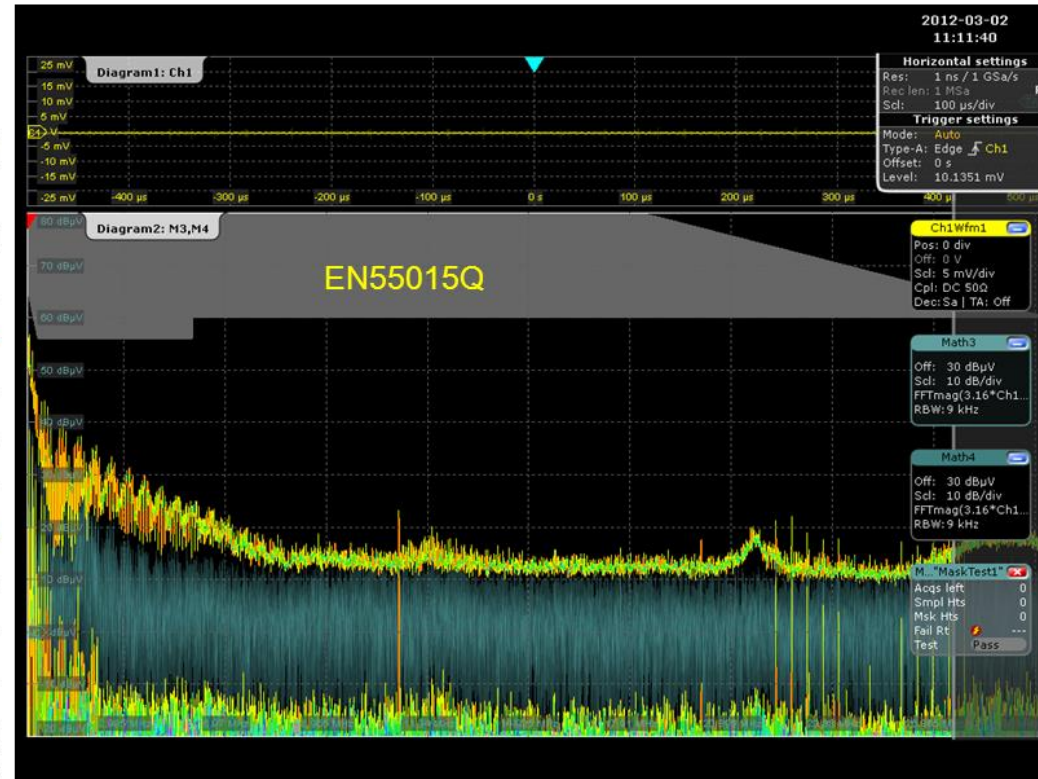


利用模板测试功能按照EMC标准检测电路

- Conducted Emission using LISN
- 9 kHz – 30 MHz



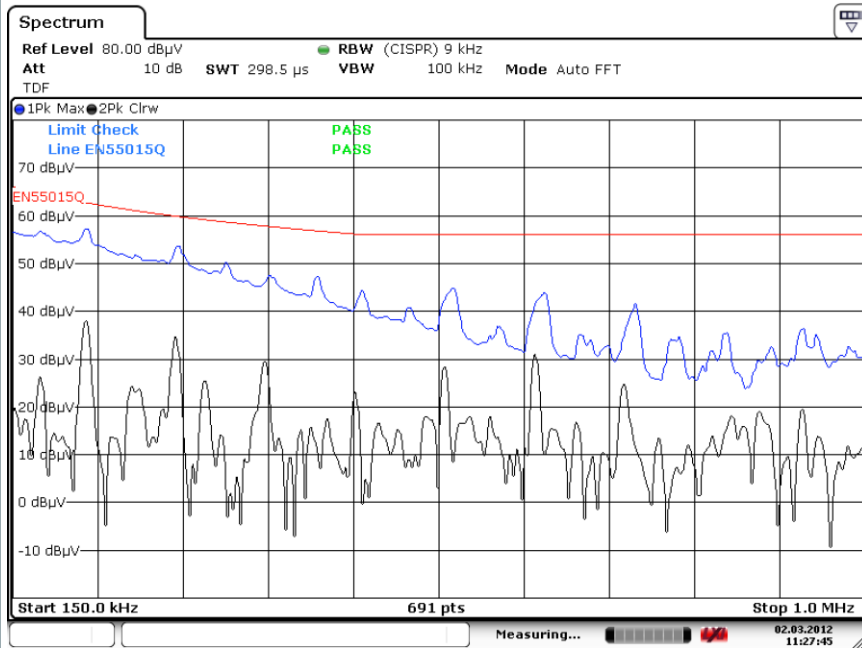
- FSV trace 1 = Max hold / Pos Peak
- FSV trace 2 = Clear Write / Auto Peak



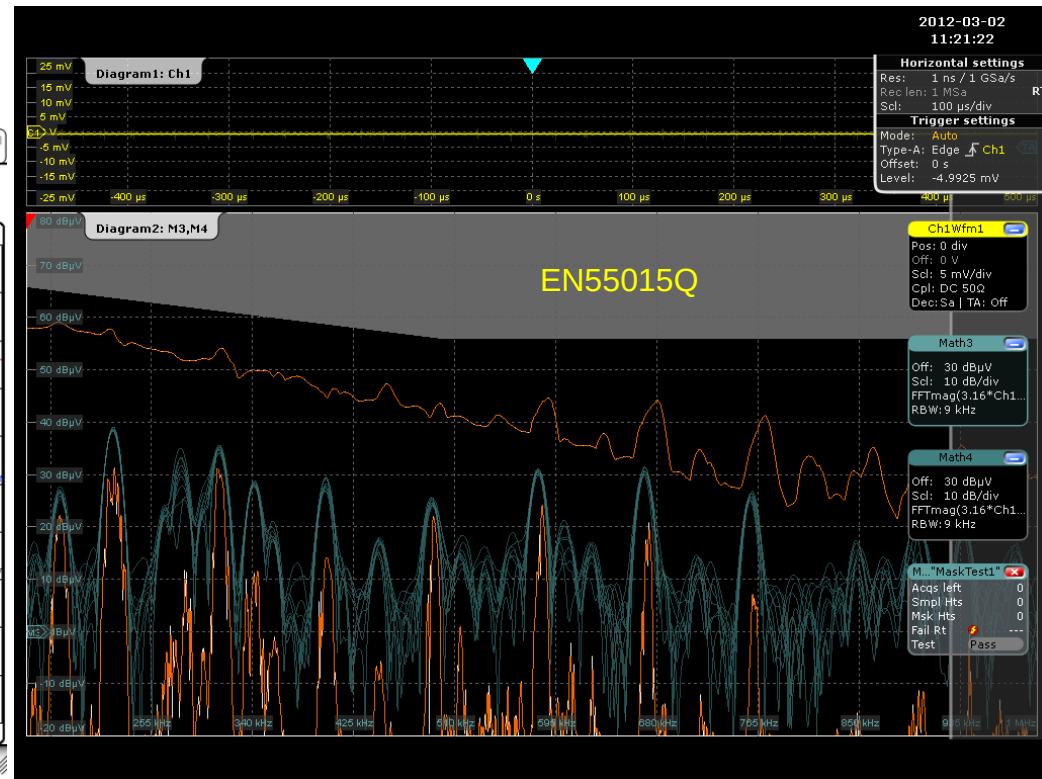
RTO FFT1 = Normal mode
RTO FFT2 = Envelope mode

9KHz-1MHz频段

- Conducted Emission using LISN
- 9 kHz – 1 MHz



- FSV trace 1 = Max hold / Pos Peak
- FSV trace 2 = Clear Write / Auto Peak



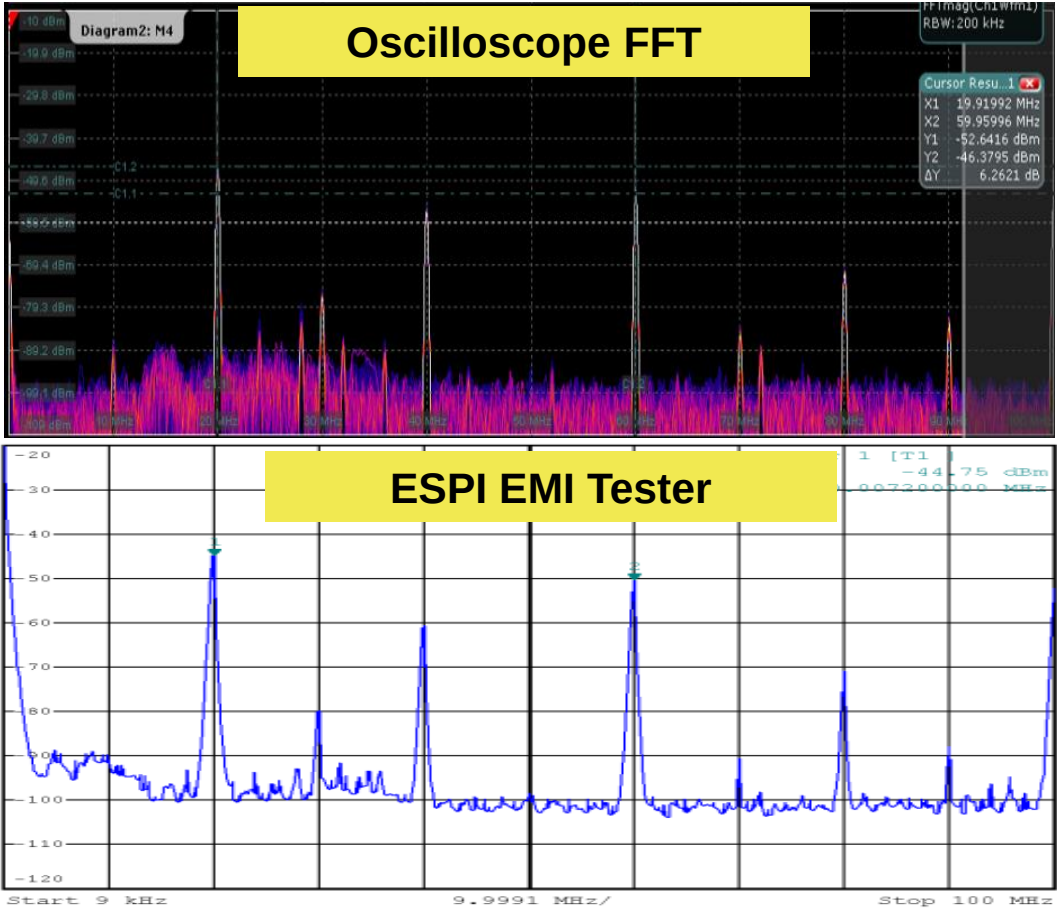
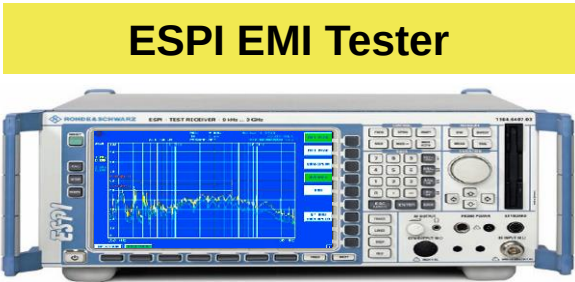
- RTO FFT1 = Normal mode
- RTO FFT2 = Envelope mode

示波器与EMI接收机仪

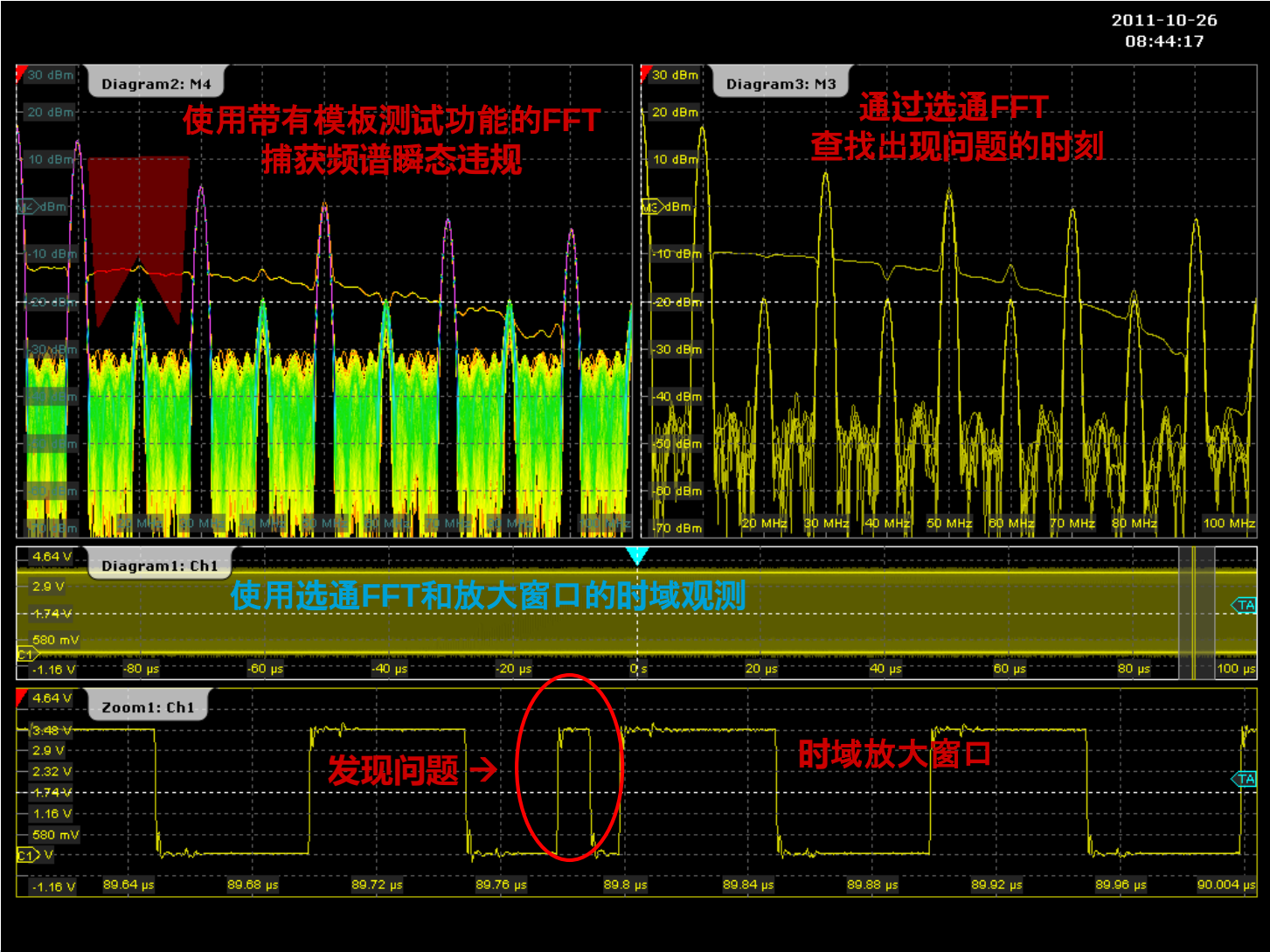
I 凭借强大的FFT功能和速度，示波器可以模仿一个EMI测试仪的电磁干扰故障检测能力

NOTE:

示波器不能取代EMI接收机，特别是在执行符合性测试，但它作为一个良好的EMI测试和快速调试工具



数字电路设计故障排查



小结

- 工程师希望示波器在嵌入式设计中提供时域和频域综合分析功能
- 通过合理的设置，示波器FFT分析的频率分辨率和动态范围可以有效提升
- RT0示波器混合信号分析技术和频谱分析功能使其成为多域联合调试工具
- 通过独特的技术如：硬件FFT、重叠采样、选通频谱分析等，RT0示波器可以出色完成嵌入式电路故障排查和EMI诊断与预测试

