

嵌入式设计与混合信号调试技术

日程

- 丨 当今嵌入式设计的发展趋势
- 丨 信号完整性与异常模拟信号捕获
- 丨 数字信号和总线协议分析
- 丨 调试实例：ADC性能测试

嵌入式系统

定义

嵌入式系统是为完成一项或几项任务而设计的计算机系统

嵌入式系统包含的处理设备通常是MCU 和DSP

各种类型的嵌入式设备

通信设备	<ul style="list-style-type: none"> - Telephone Switches - Mobile Phones - Routers - Network Bridges
消费电子	<ul style="list-style-type: none"> - DVD Players - MP3 - Microwave ovens - Cellular Phone
汽车电子	<ul style="list-style-type: none"> - Airbag Controller - Engine Control Module (ECM) - Tyre Pressure Controller - Antilock brake controllers



Router Board
With WiFi



Embedded Computer
on Module



Engine Control Module

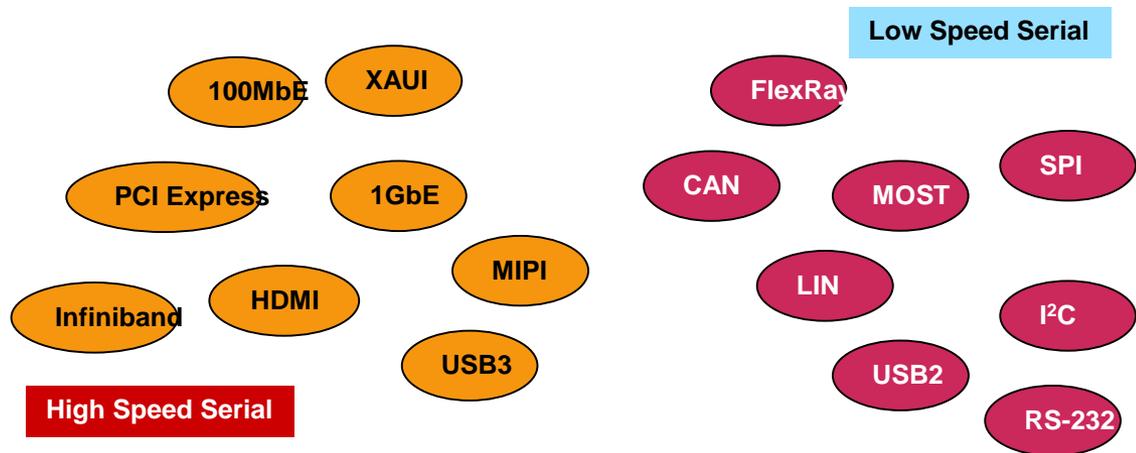
现代嵌入式设计的发展趋势：总线技术

I 并行总线

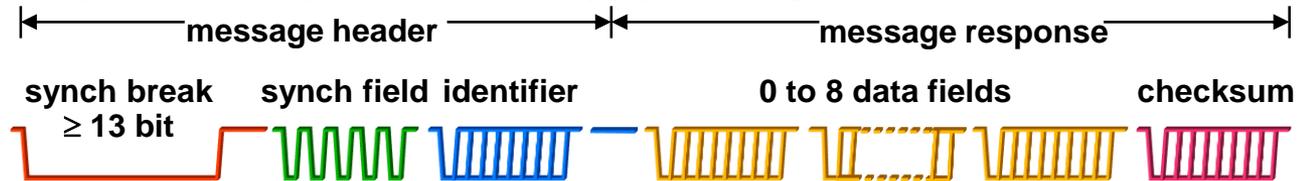
- 较低频率
- 定时特性简单 - 所有信号同时并行传输
- 如果有足够的通道，比较容易捕获状态.
- 解码相对简单

I 串行总线

- 较低功率要求
- 占用PCB空间少
- 较为便宜的器件
- 嵌入式时钟
- 低成本
- 布线简单
- 可靠性已经提高



I 挑战：单一信号中包含地址、控制、数据和时钟



Example - LIN BUS

现代嵌入式设计的发展趋势：RF信号

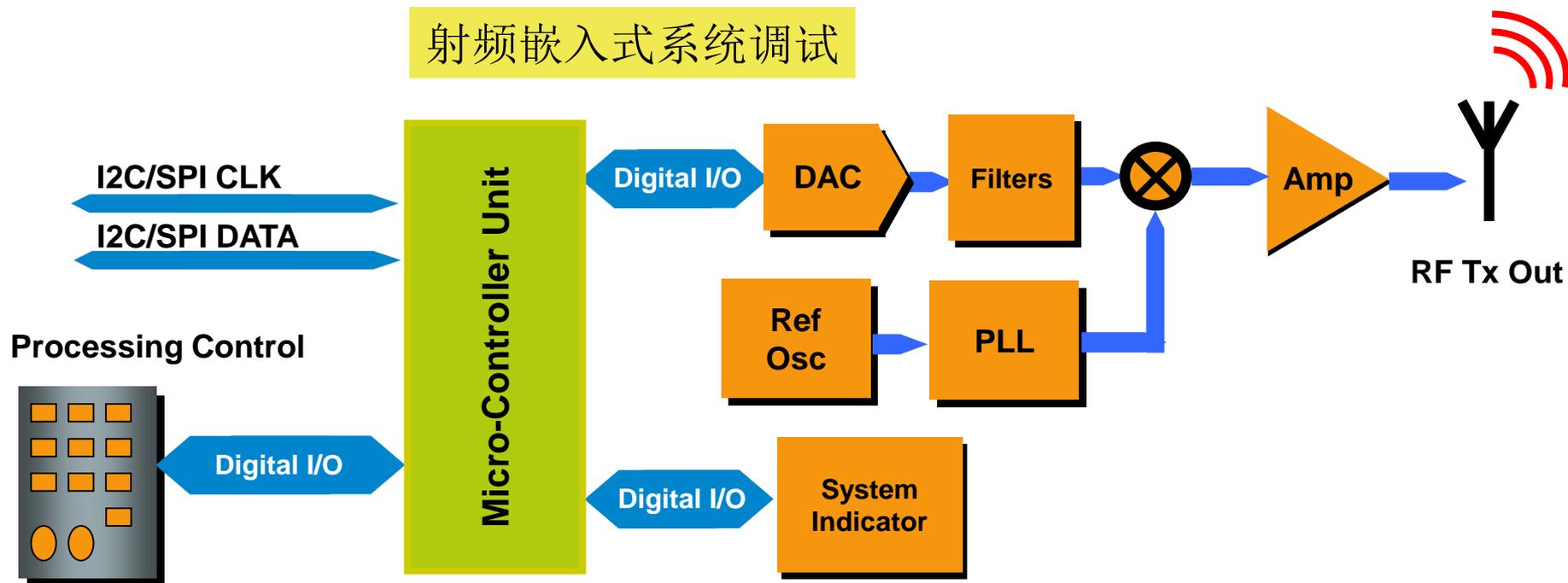
I 无线通信无处不在

- 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

带有RF功能的嵌入式系统调试： 调试工具要求

■ 快速捕获：

→ 在时域和数字域检测毛刺和随机异常事件.

■ 历史数据存储能力：

→ 跟踪和回溯感兴趣的事件，具有时间相关性.

→ 检测多路多帧总线数据

■ 在频域分析的高动态范围和分辨率：

→ 减少杂散以提高动态范围，特别是测量小信号时。

→ 高频率分辨率区分微小的频率变化

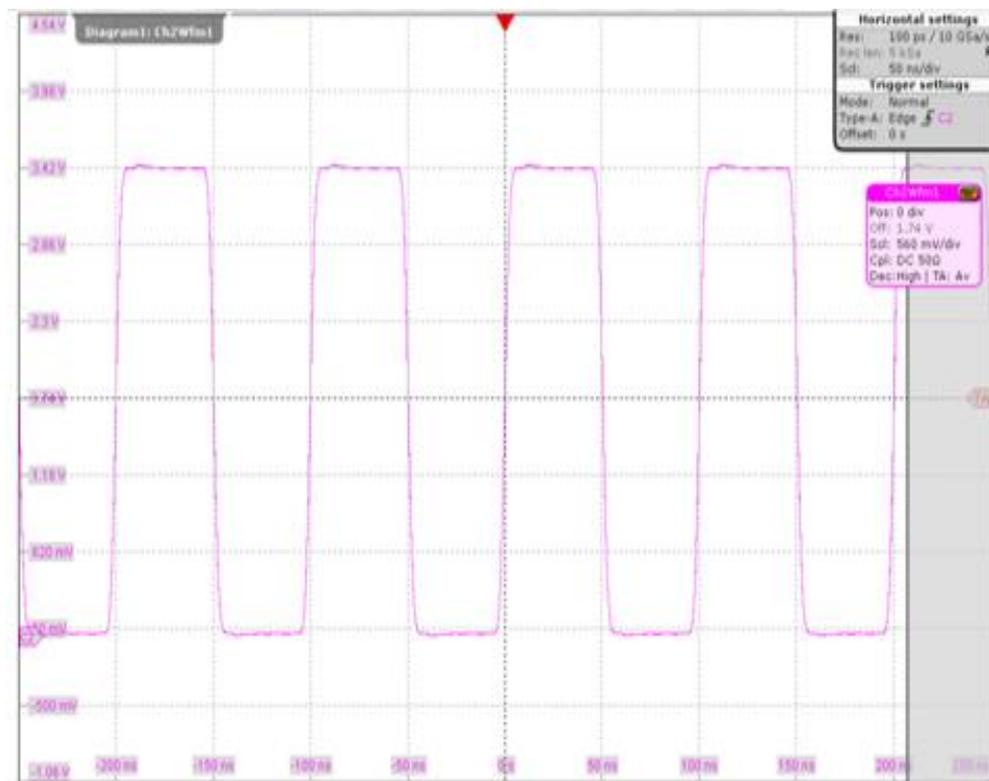
→ 检查在时域不能发现的噪声干扰和信号谐波

■ 时域、数字域、总线协议和频域的关联分析：

→ 检查跨域的异常和问题相关性.

信号完整性

- 根据定义，完整性意味着“完整无缺且未受到损伤”
- 例如，一个具有良好信号完整性的数字信号应该：
 - 干净，快速的边沿
 - 稳定有效的逻辑电平
 - 准确的定时状态
 - 没有暂态事件
- 随着大量新技术的使用，保持信号完整性越来越困难



信号完整性-常见电路问题

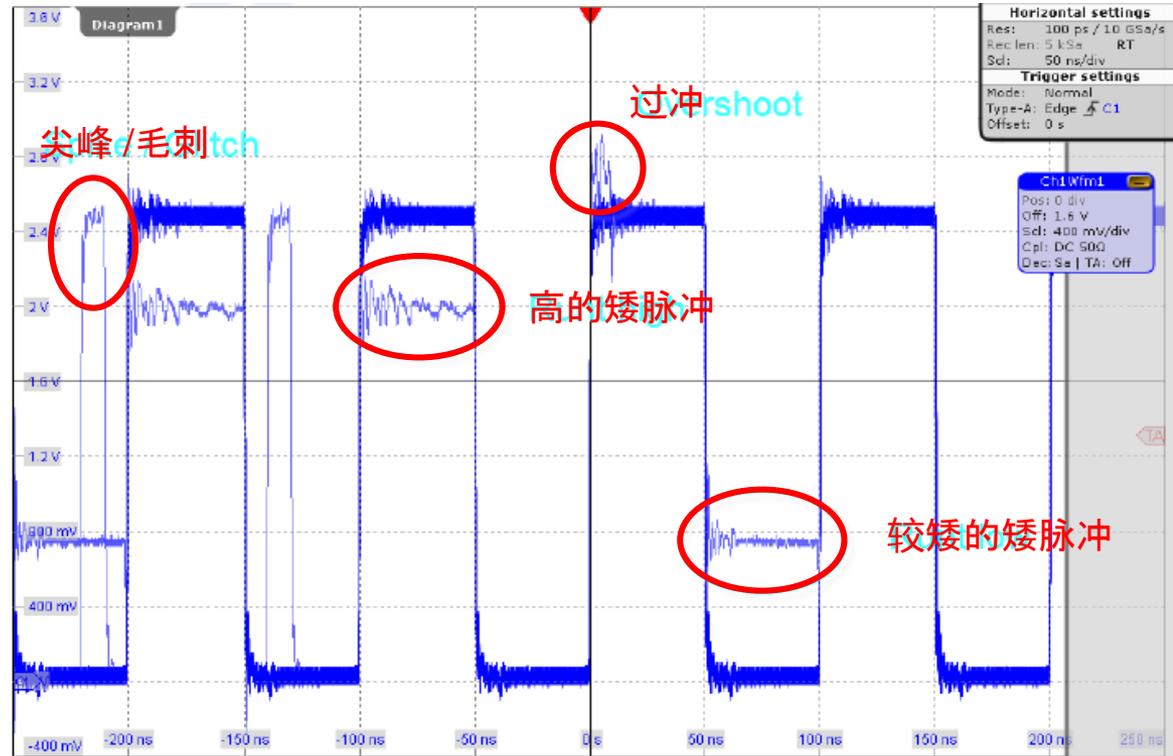
调试检查项目

检查数字信号可能存在的常见问题:

- 丨 矮脉冲
- 丨 毛刺
- 丨 慢上升沿
- 丨 建立保持时间违规

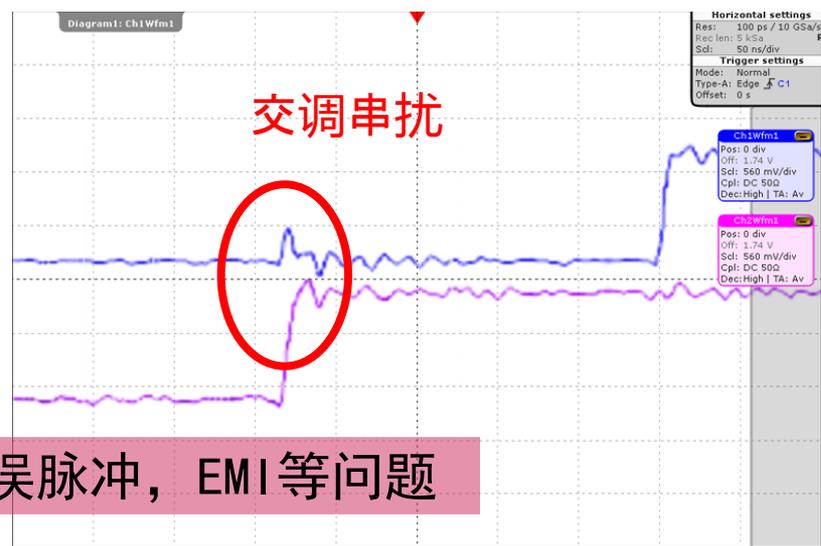
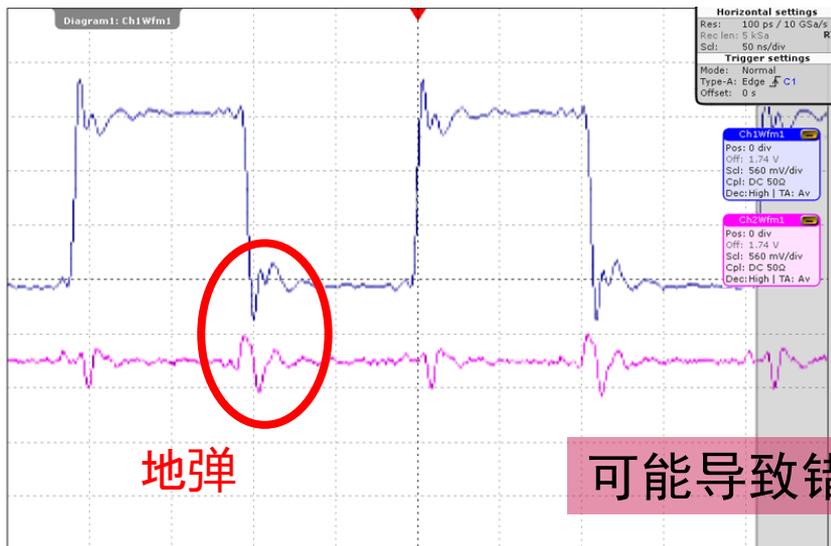
分析信号质量:

- 丨 过冲和下冲
- 丨 下陷
- 丨 非单调边沿
- 丨 幅度问题
- 丨 脉冲宽度
- 丨 噪声

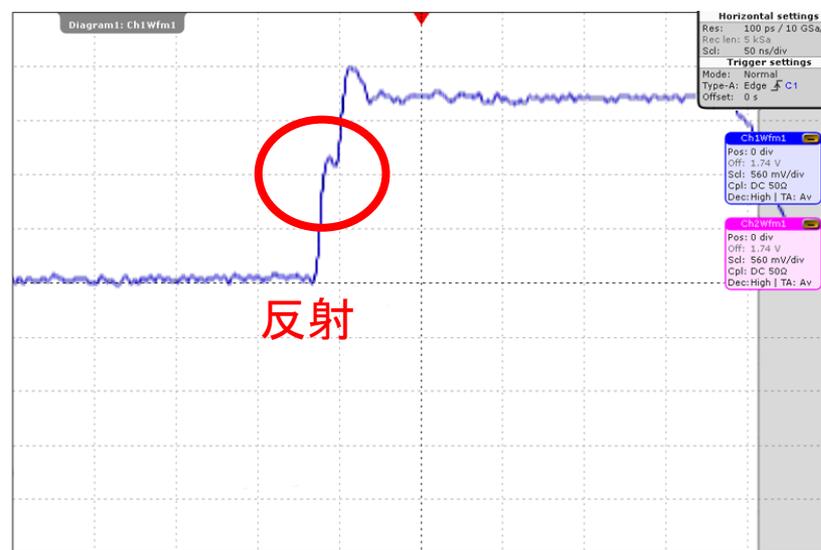
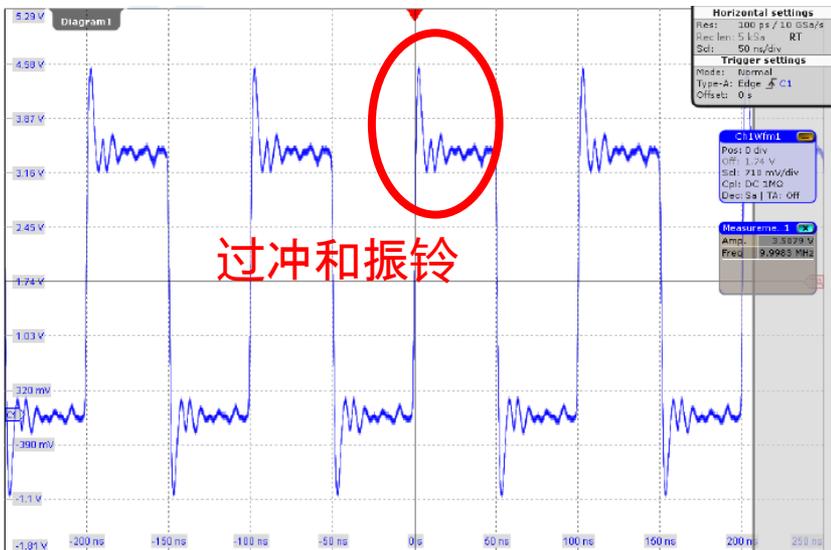


你能确保捕获到这些问题吗?

由于PCB布线带来的信号完整性问题



可能导致错误脉冲，EMI 等问题



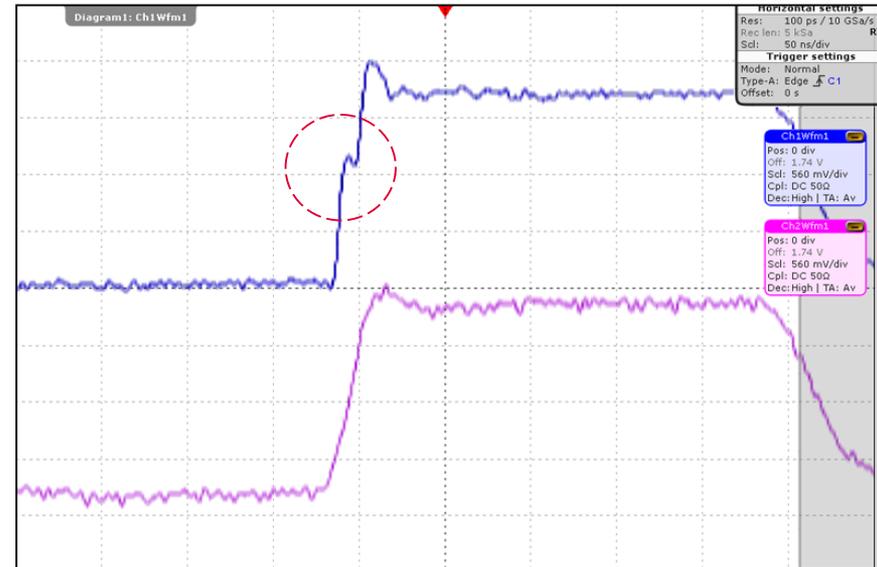
常见电路问题 - 反射

- 丨 通常导致模拟违规
- 丨 反射 - 可能的原因有
 - 丨 电路板布线问题, 发出的信号反射回发射源干扰后续的脉冲信号
 - 丨 很差的端接

Example:

- For a typical circuit board of FR4 material, the propagation speed is roughly 15 cm/ns.
- With a 1 ns rise time, any trace longer than 7 cm can have transmission line effects.

$$2T_{prop} > T_{rise}$$

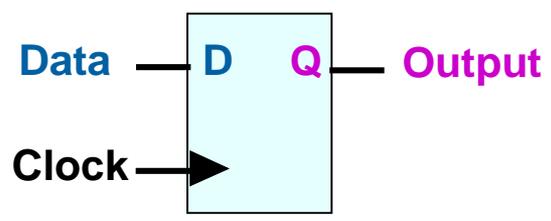


- 丨 Ch1 shows 1.3ns rising edge captured with a 1GHz Osc.
- 丨 Ch2 is identical to the top but its BW limited to 250MHz showing what a 250MHz Scope might display

如果测试仪器的带宽不够，这样严重的问题可能被掩盖不能发现

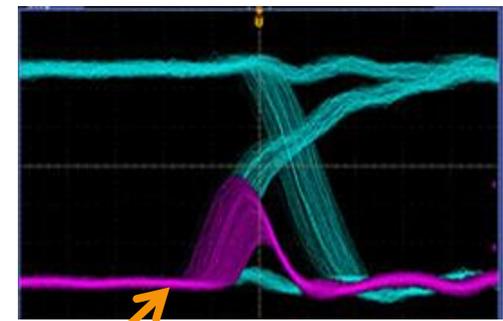
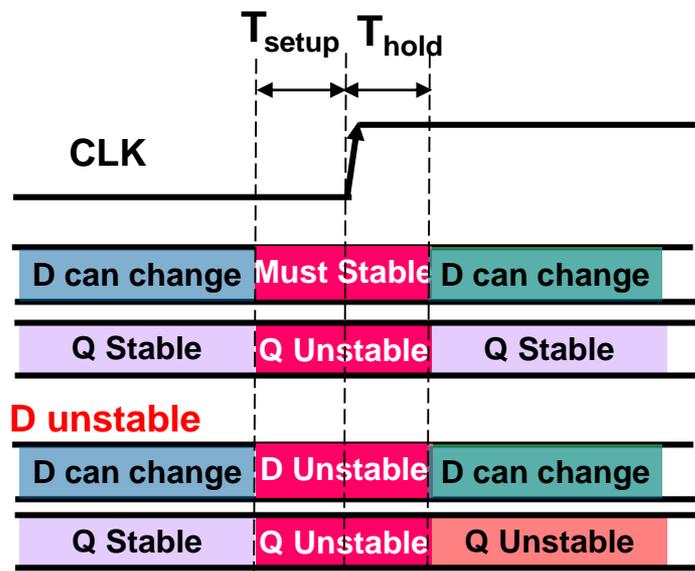
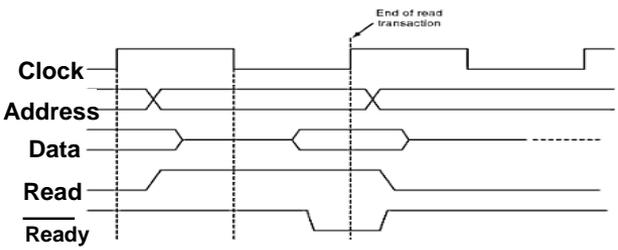
嵌入式调试问题- 亚稳态

- 不确定的或不稳定的数据状态
- 发生频率低，造成其很难被发现和捕获
- 在具有多个数字通道的的数字电子设计中，建立保持时间违规是很常见的问题



Example: a D-Latch

典型的数字信号

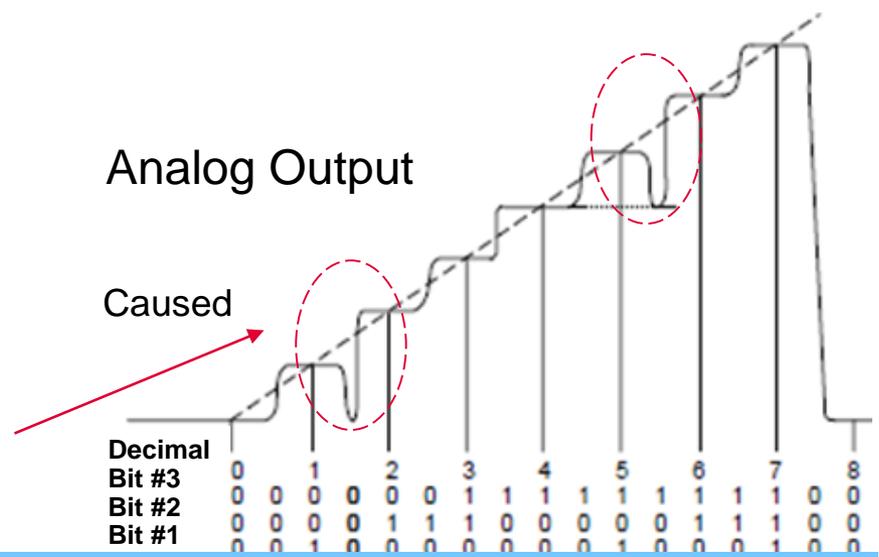
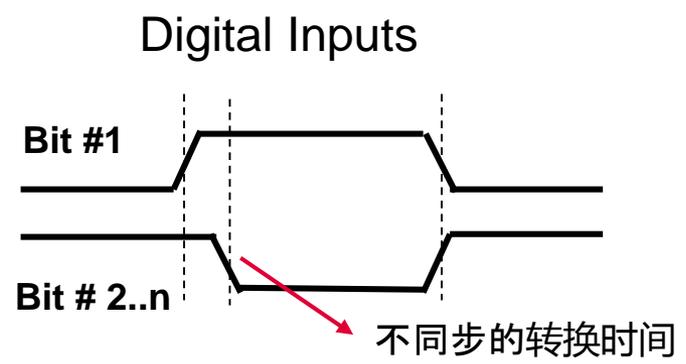


RUNT Pulse, for Glitch from Metastable condition Or Glitch!!

需要快速的捕获率, 很高的定时分辨率, 具有多个通道的测试仪器...

常见电路故障 - DAC毛刺

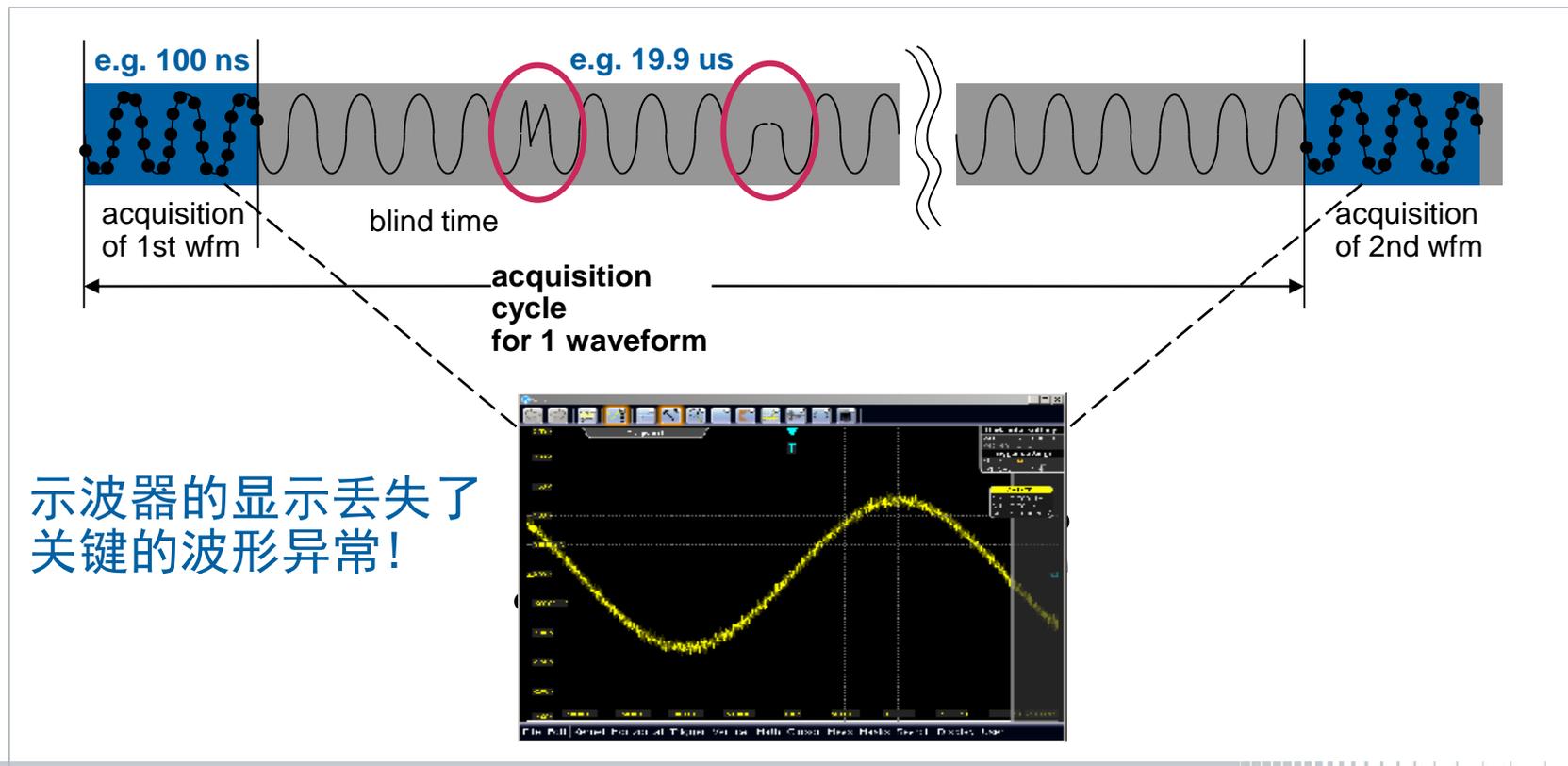
- 引起在D/A转换器毛刺的原因是什么？
- 毛刺就是快速变化的电压尖峰，在DAC中任何输入码型的变化都可能导致毛刺
- 这样的结果可能有两个来源：
 - 转换时间的不同步以及信号回路寄生电容带来的干扰
 - 转换时间应尽可能同步
 - 不同逻辑器件对不同边沿的转换时间不同



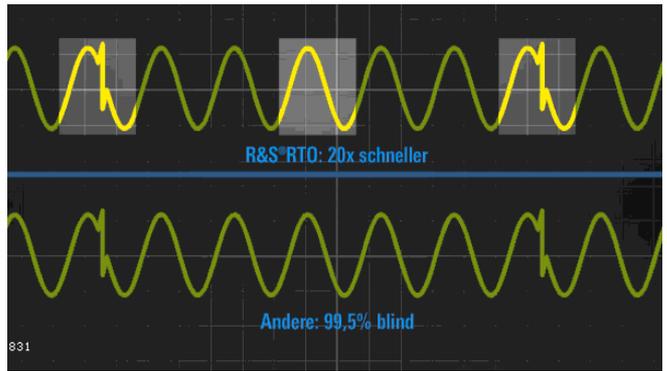
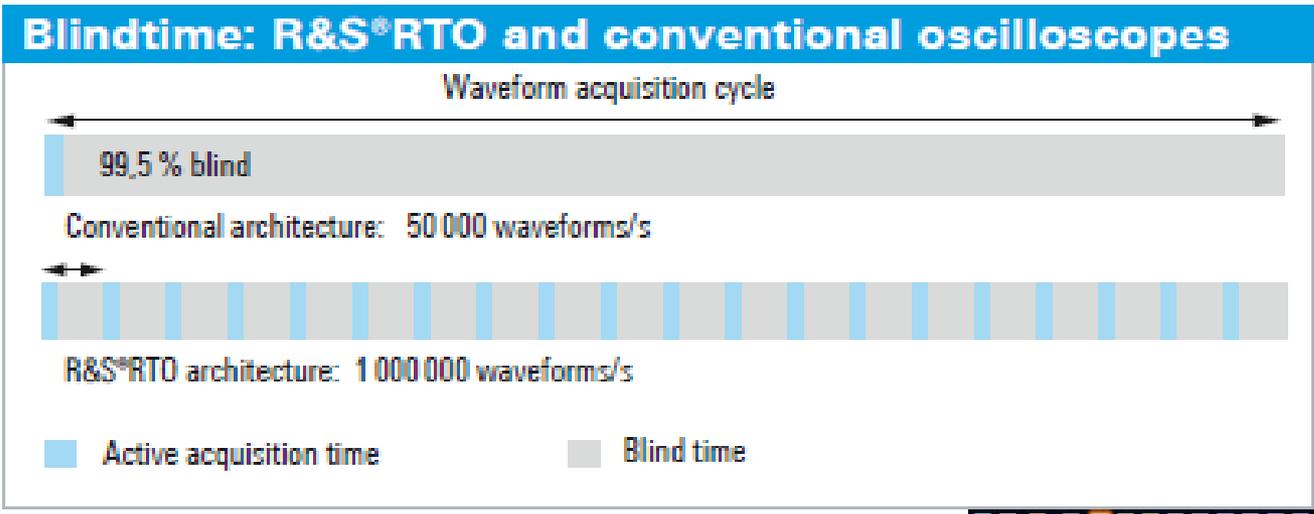
需要在多个通道间具有高定时分辨率并且能和模拟通道相关联的测试仪器...

数字示波器的波形捕获率

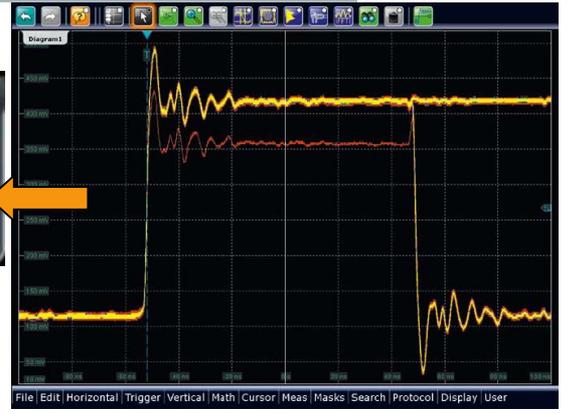
- 数字示波器具有显著的盲区时间!
- 典型的数值: max. 0.5% 捕获 → 99.5% 盲区
(一个典型的波形捕获率为50,000 wfm/s的数字示波器)



R&S RTO - 业内领先的波形捕获率



Performance	
Performance	
Acquisition per frame	30610
Acquisition per second	1020000
Time per frame	0.03



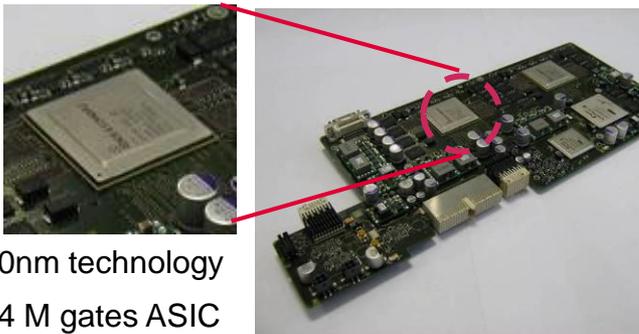
Customer Benefit:

- Detect and also analyze rare signal 20x faster

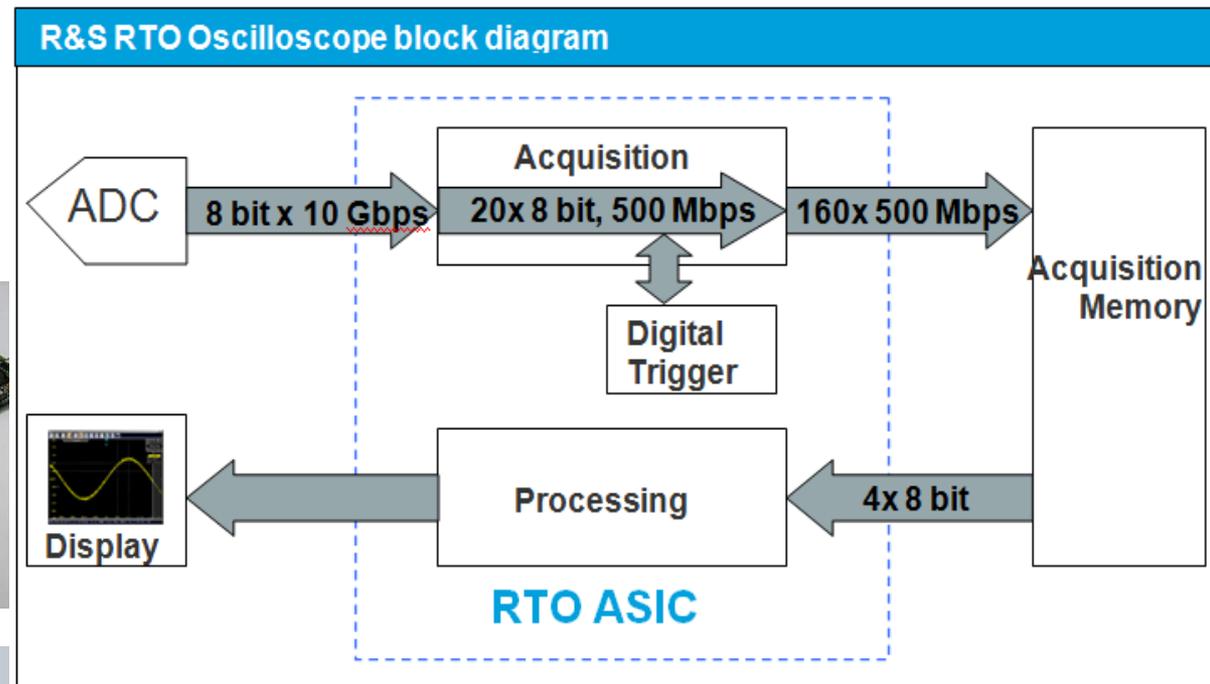
R&S RTO - 业内领先的波形捕获率

- 丨 RTO结构：专用ASIC设计，减少盲区时间
- 丨 设计的关键是并行处理。RTO的 8位10Gs/s ADC输出80Gbits数据后续处理
- 丨 采集模块中数据按照20路并行处理

R&S® RTC ASIC

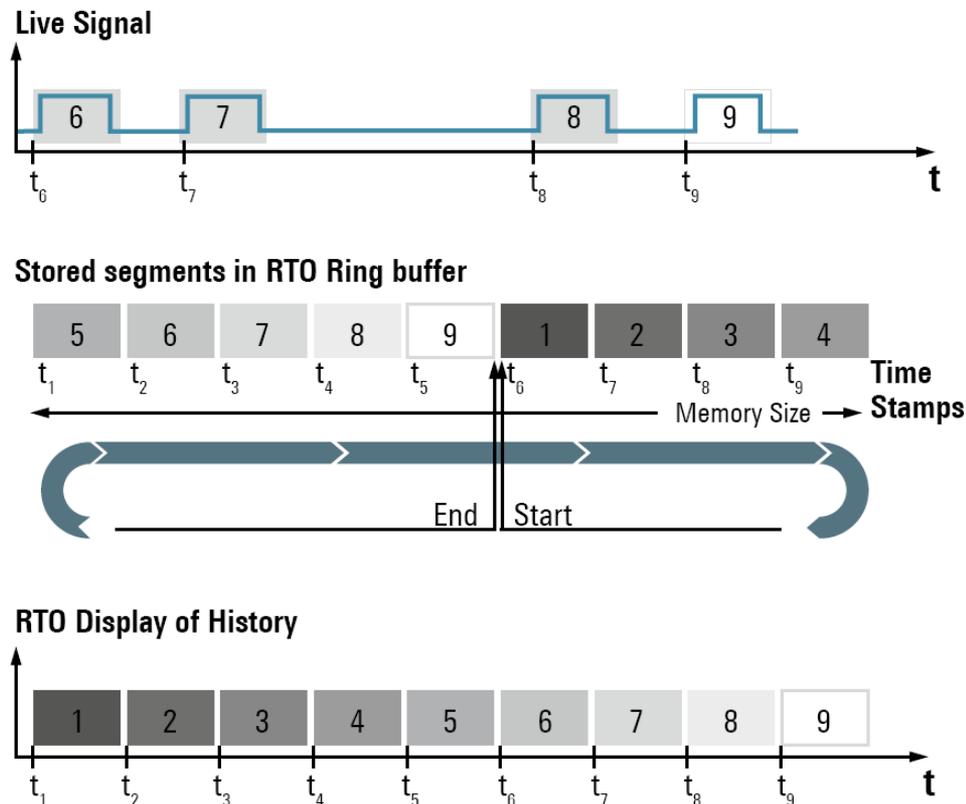


90nm technology
14 M gates ASIC



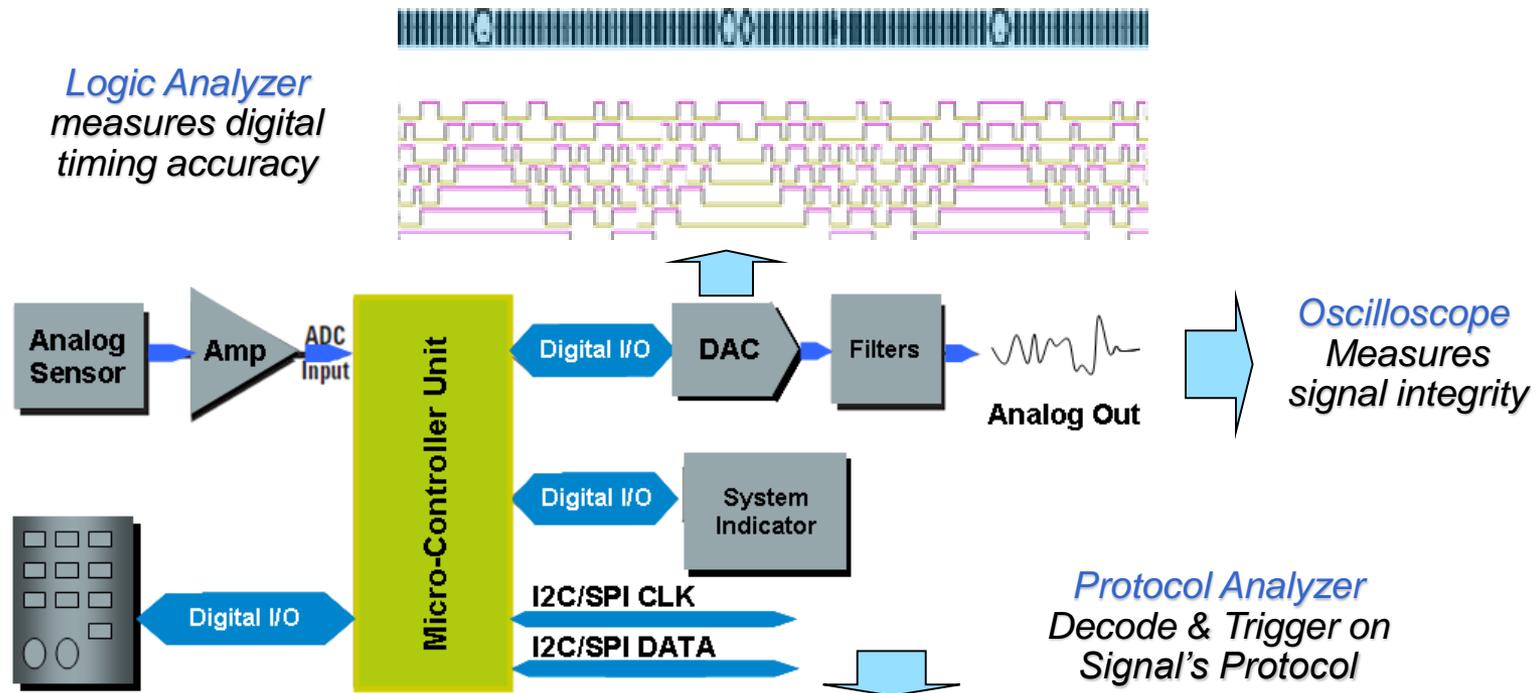
RT0存储器实现模式 - 历史模式

- 每个采集的波形都自动存储在RT0的存储器中，可以随时回放。
- Note: RT0具有最短的盲区时间



现代嵌入式系统调试...

— 需要的不仅仅是一台示波器

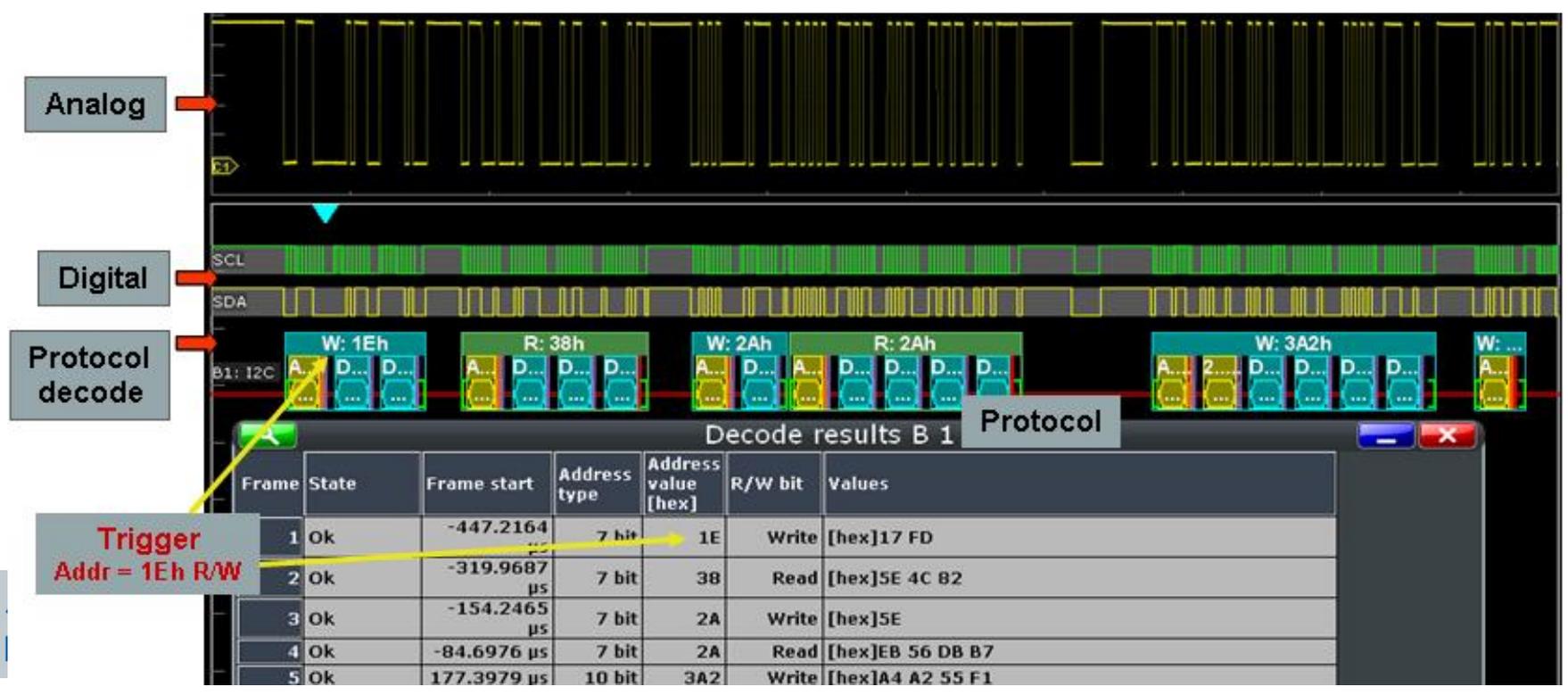


- 模拟信号和数字信号的关系需要测量
- 系统的逻辑问题需要解码和复杂的触发功能隔离出来



混合信号示波器

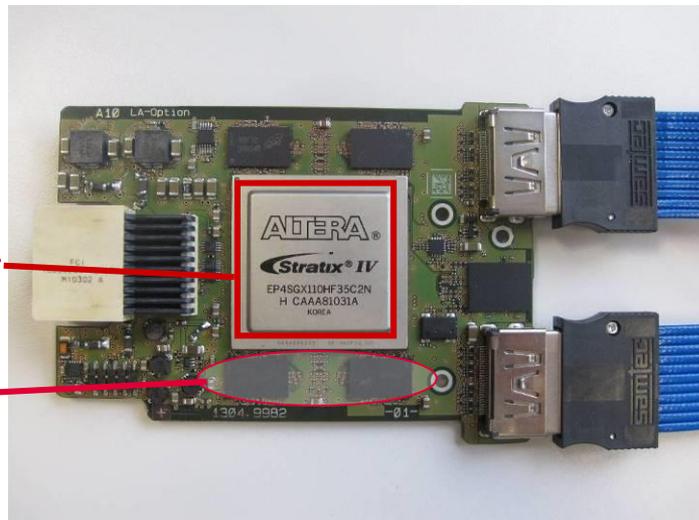
- 混合信号示波器集模拟和数字通道于一身
- 应用：
 - 在屏幕上显示时间相关的模拟和数字信号。
 - 复杂的触发功能锁定特定的系统状态，捕获高带宽和高分辨率的信号
 - 提供高带宽和分辨率的触发，同时具有系统的逻辑状态解码能力。



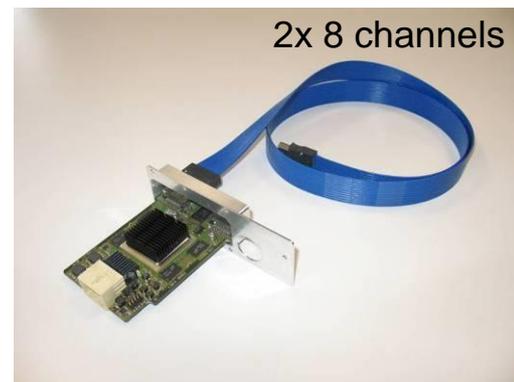
RTO示波器的MSO功能

- 丨 RTO MSO功能可以满足所有要求
- 丨 独特的功能指标:
 - 丨 每通道 5GS/s采样率 (200 ps 毛刺检测能力)
 - 丨 标配每通道200MB存储深度
 - 丨 数字通道高达 200k wfm/s波形捕获率

触发
数学计算
测量与光标
图形显示
采集存储



MSO主板



RTO-混合信号示波器



专用硬件实现

200ps高定时分辨率 (5GSa/s)应用于所有 16 通道上提供 200MSa存储上

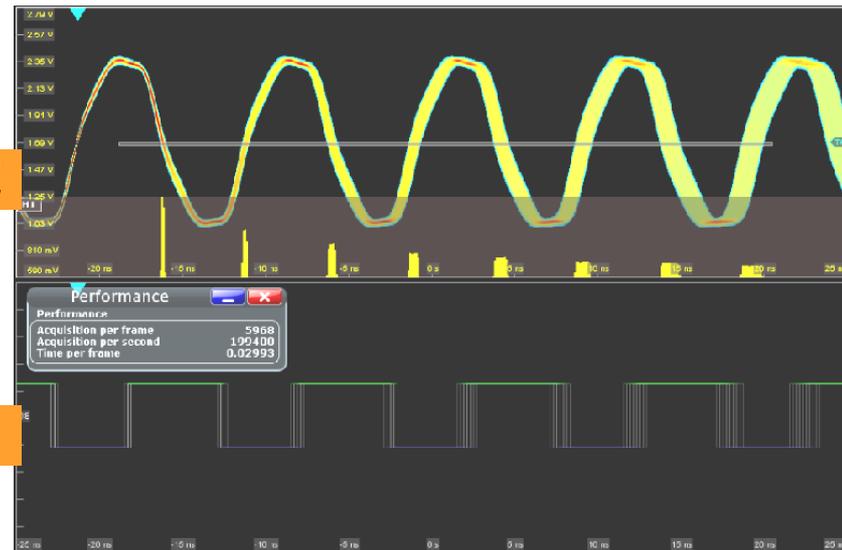
检测间歇数据信号



模拟通道

数字通道

SSC直方图分析



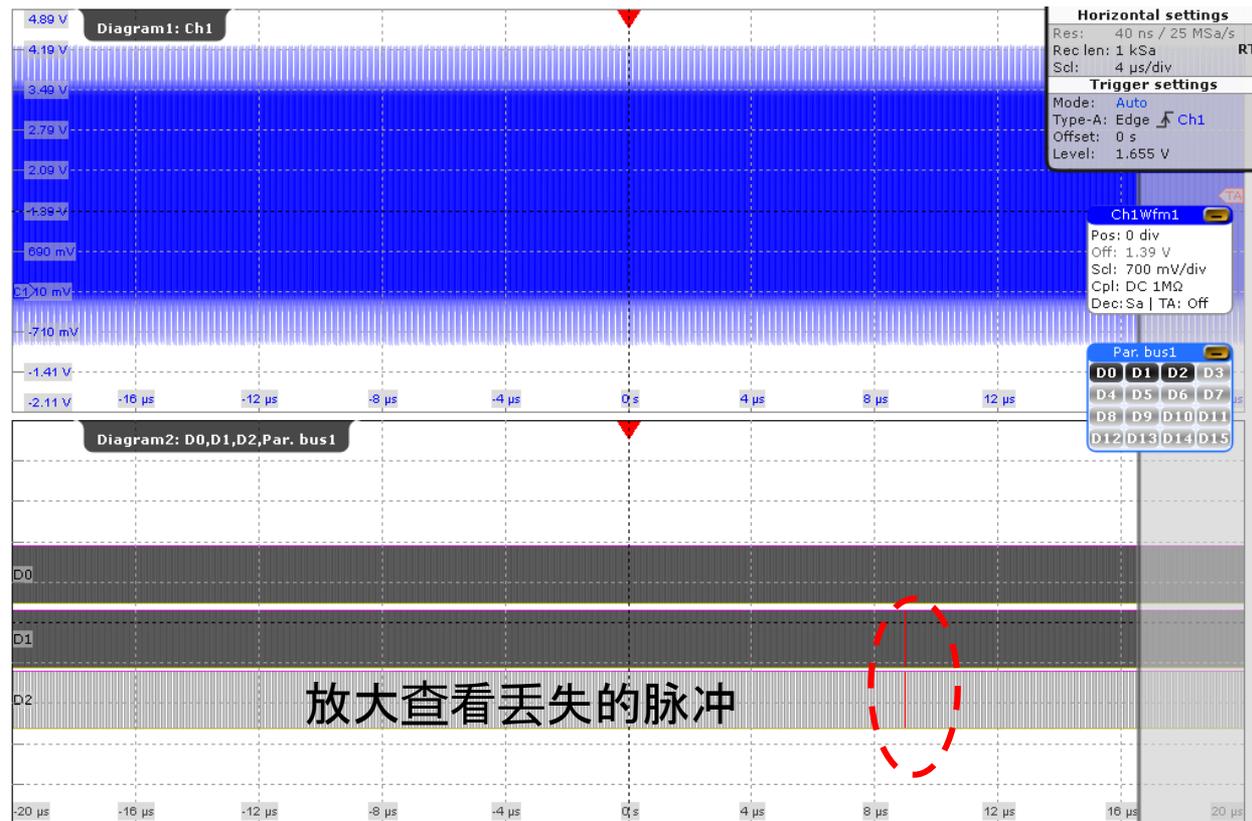
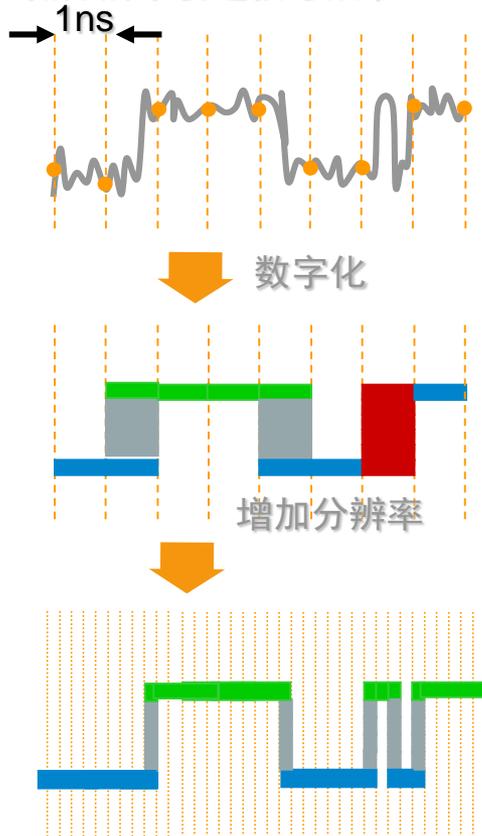
RTO MSO 具有 **200,000 wfms/s**波形捕获率 可以在所有的模拟和数字通道上同时更快地检测错误，没有任何妥协。

RT0 混合信号示波器 - 信号抽取

检测由于信号抽取丢失的脉冲

RT0-MSO 可以检测最小200 ps的脉冲

低分辨率引起信号抽取



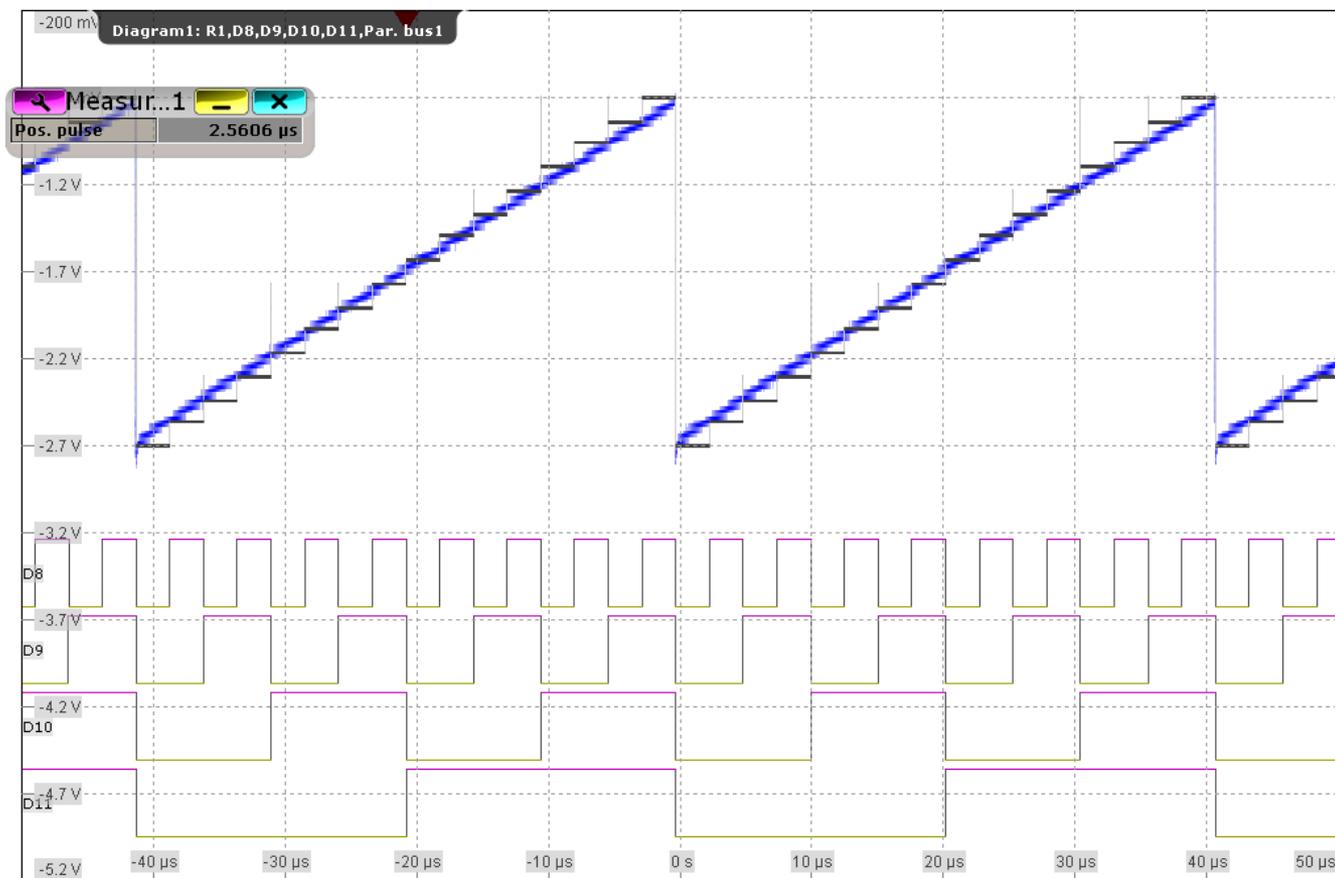
丢失的脉冲的位置用加亮的红色显示

RT0 - 混合信号示波器应用

分析量化噪声

2011-12-29
08:45:05

有数字通道重构
模拟波形，将其与
输入的信号比较，
评估量化噪声和
ADC的线性度



示波器的协议分析功能

丨 为什么不使用协议和逻辑分析仪？

- 丨 配备上述仪器复杂而且价格昂贵
- 丨 和模拟信号做时间相关分析会非常麻烦
- 丨 对串行总线协议做简单的调试使用协议分析仪大材小用

丨 当代的示波器具备了支持协议分析的能力：

- 丨 串行协议的触发和解码
- 丨 混合信号分析
- 丨 串行码型触发
- 丨 更高的存储深度
- 丨 多窗口显示简化了复杂的设制

串行触发和解码功能

解码数据与模拟波形对应



解码数据表

Frame	State	Frame start	Address type	Address value	R/W bit	Ack bit
1	Ok	-1.66...ms	10 Bit	[hex]136	Write	Ack
2	Ok	-1.11...ms	10 Bit	[hex]24D	Read	Ack
3	Ok	-463.4 μs	7 bit	[hex]54	Write	No ack
4	Ok	-360.87 μs	7 bit	[hex]54	Write	Ack
5	Ok	0 s	7 bit	[hex]17	Write	Ack
6	Ok	1.764...ms	7 bit	[hex]4B	Write	Ack

Data of selected frame		
Byte	Value	Ack bit
1	[hex]4A	Ack
2	[hex]4D	Ack
3	[hex]4F	Ack

Data format: Hex

根据传输数据触发

Events: Qualification, Noise Reject, Sequence, Trigger Position, Control

Basic trigger settings

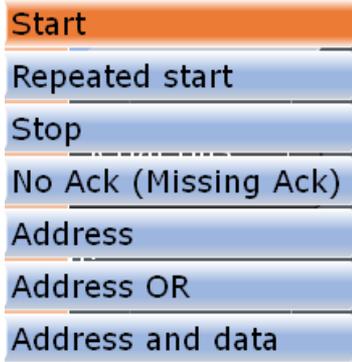
- Source: Ser
- Serial bus: B1
- Protocol: Start
- Type: Start

Trigger type dependent settings:

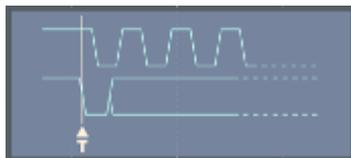
- SCL
- SDA

串行数据解码后，可以很方便地通过协议和数据触发作分析

低速串行总线触发功能



帧起始



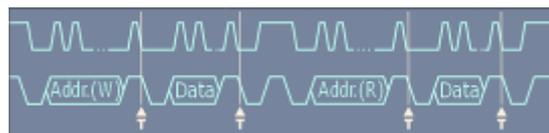
重新开始



停止位



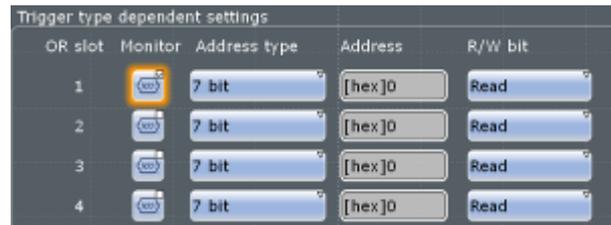
No Ack



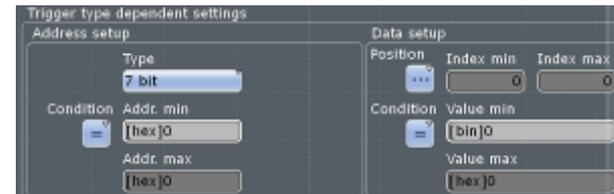
地址



地址或 OR



地址和数据

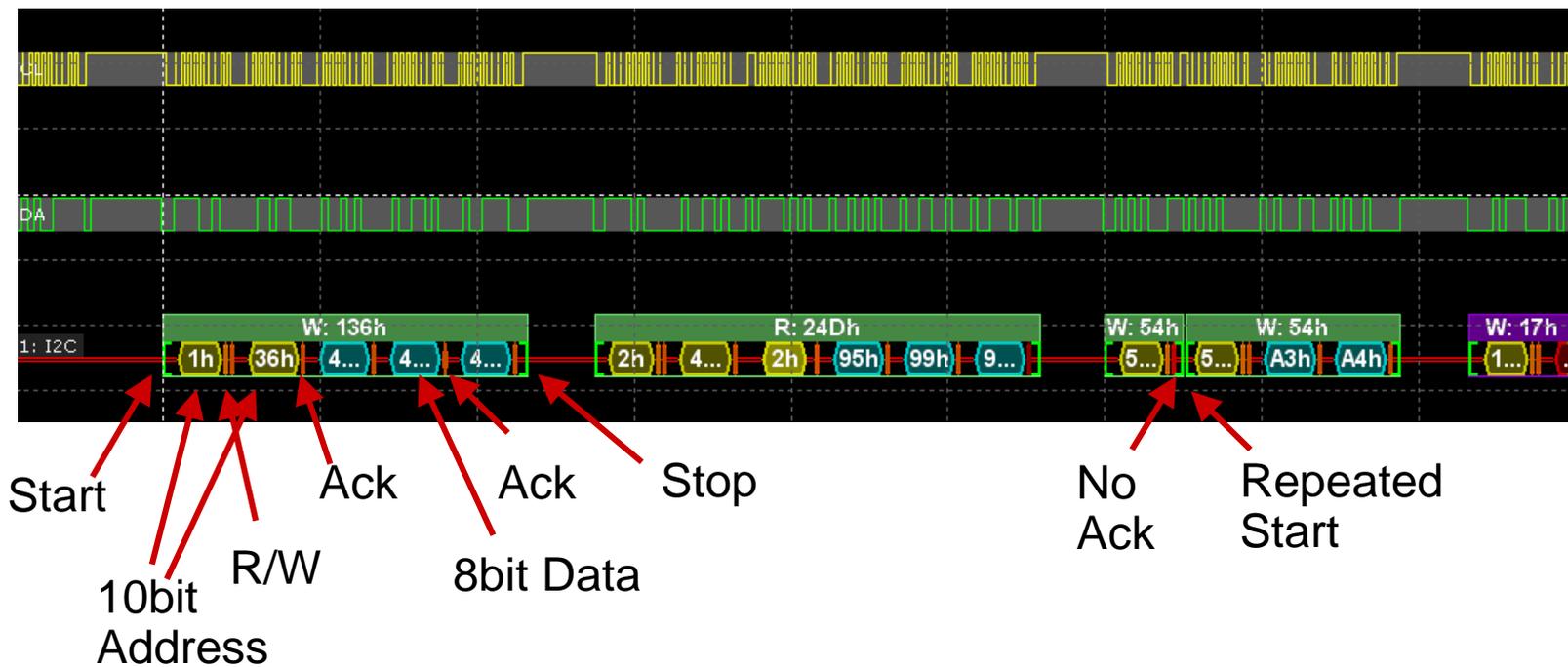


种类繁多的触发选项可以协助更快速地协议和数据分析

解码实例 - I2C

对地址136h做写操作 对地址24Dh做读操作

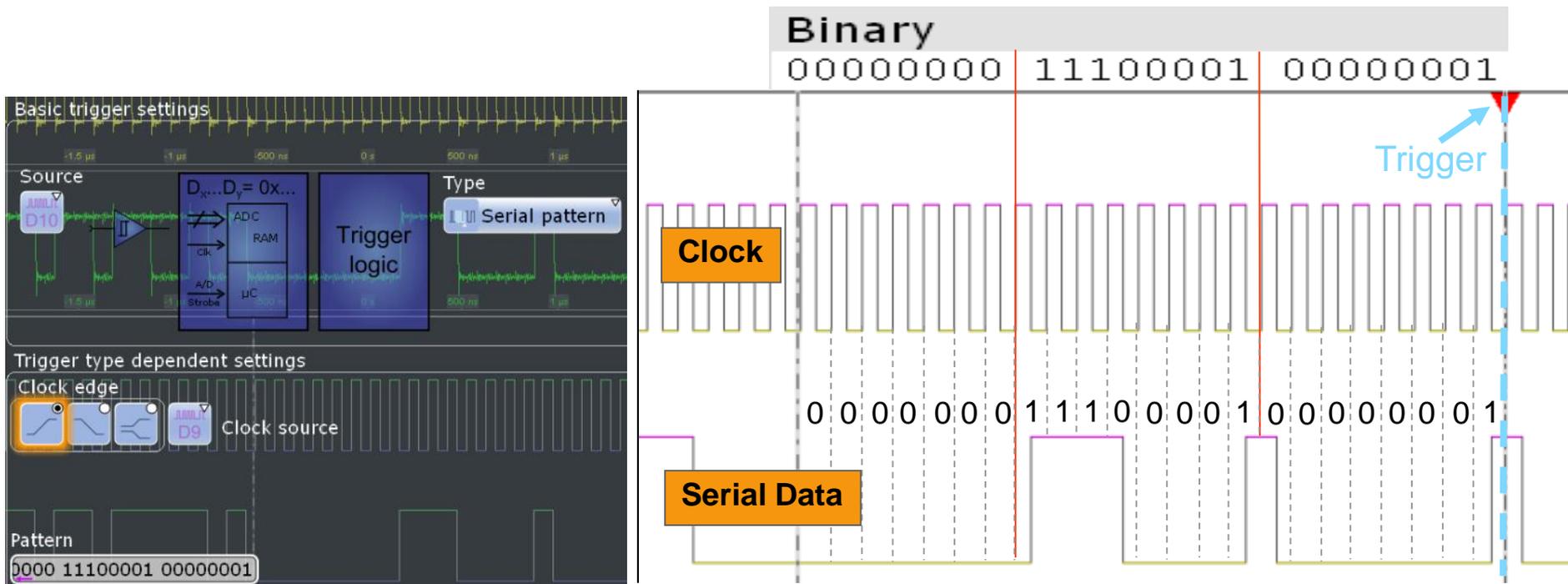
写操作未完成



颜色标记方便读出

串行码型触发

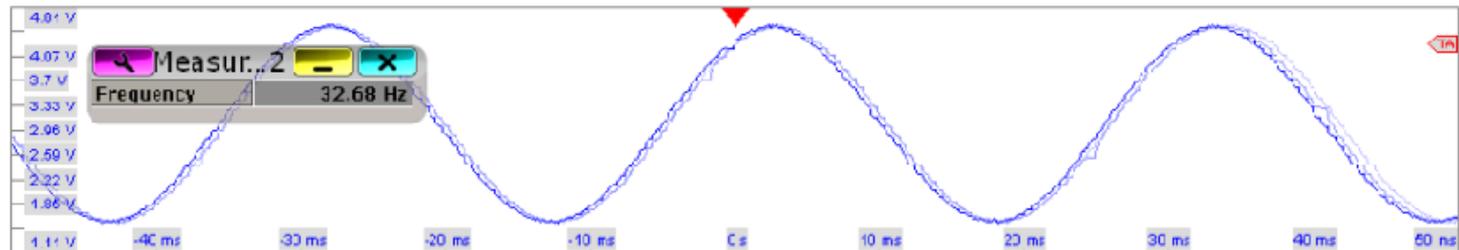
数字逻辑通道检测数据与特定串行码型比较，触发到特定码型



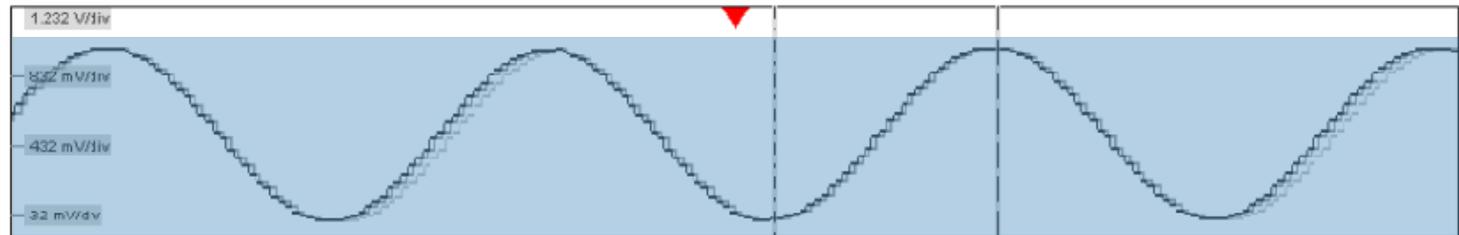
找到总线上特定的串行码型

模拟总线显示功能

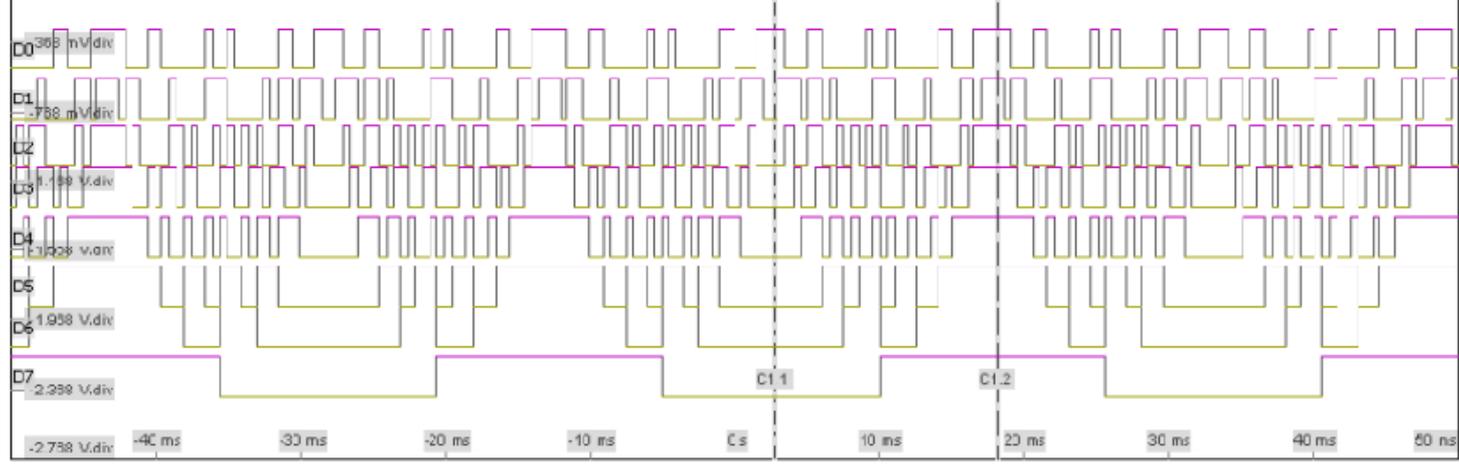
Analog Channel



“Analog” BUS



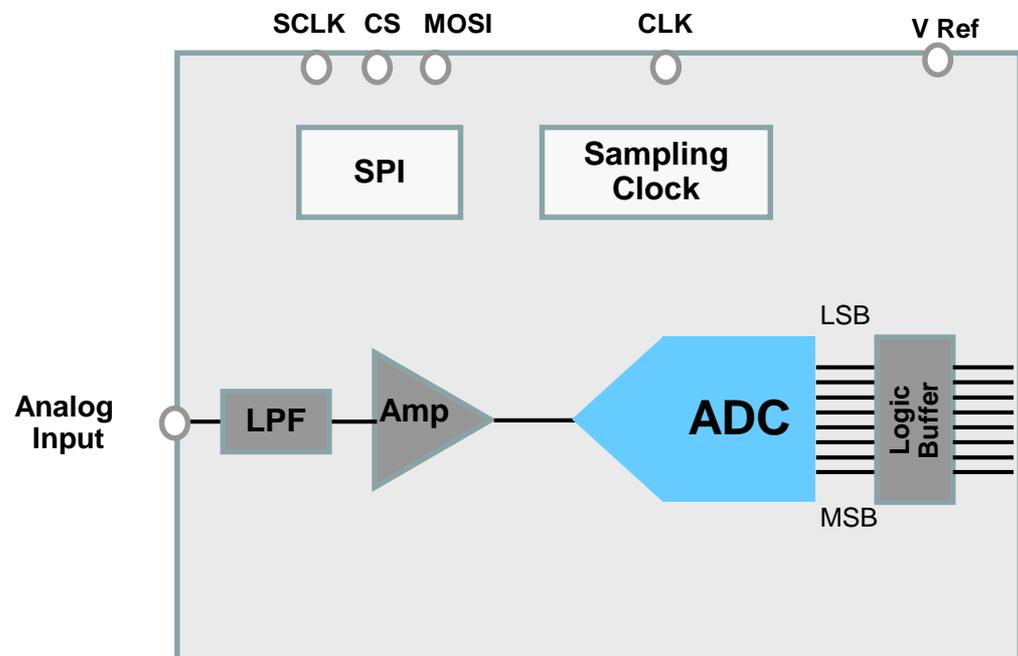
Digital Channel



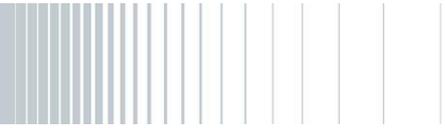
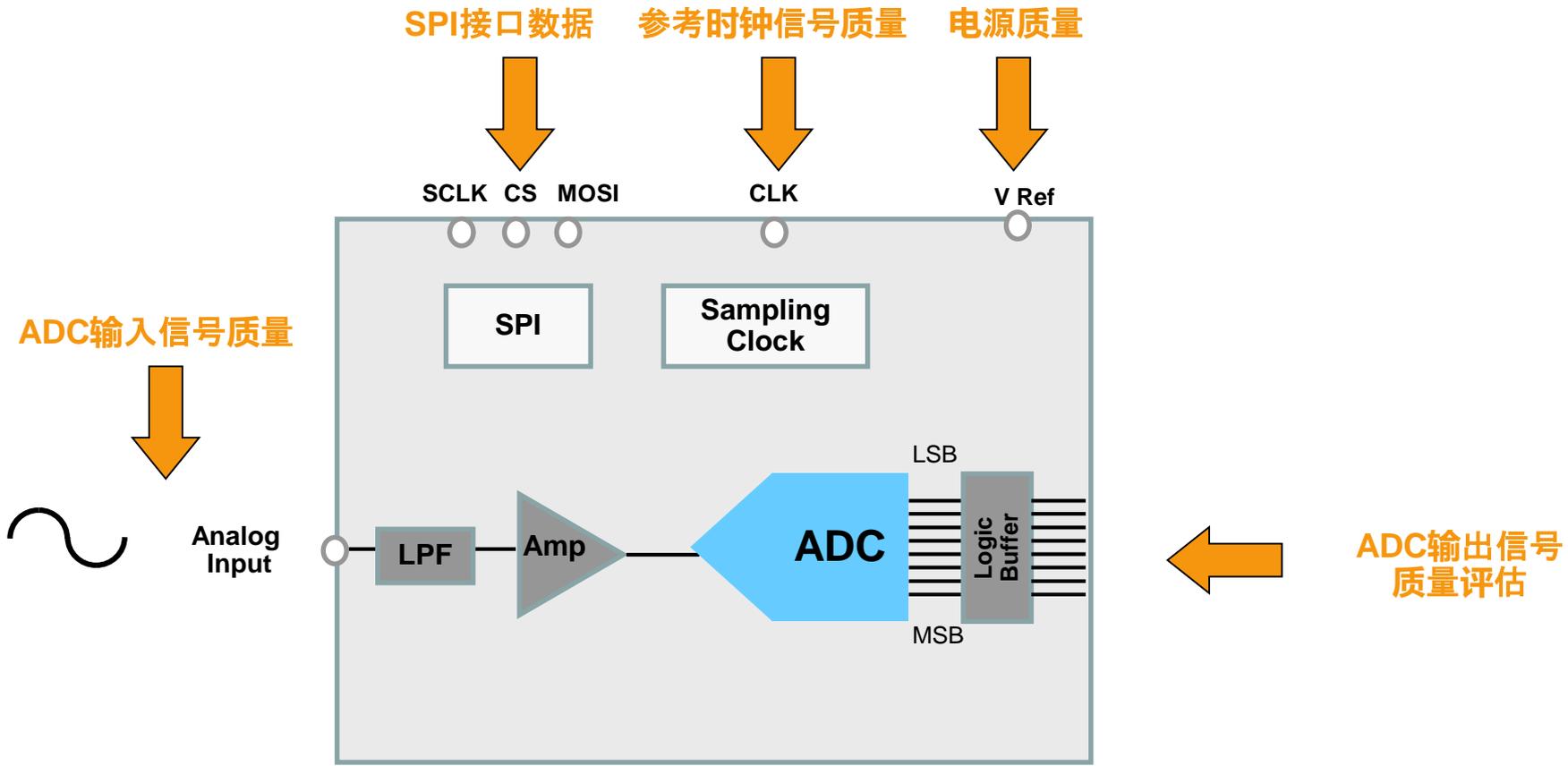
嵌入式调试举例： ADC测试

嵌入式系统中的ADC典型配置

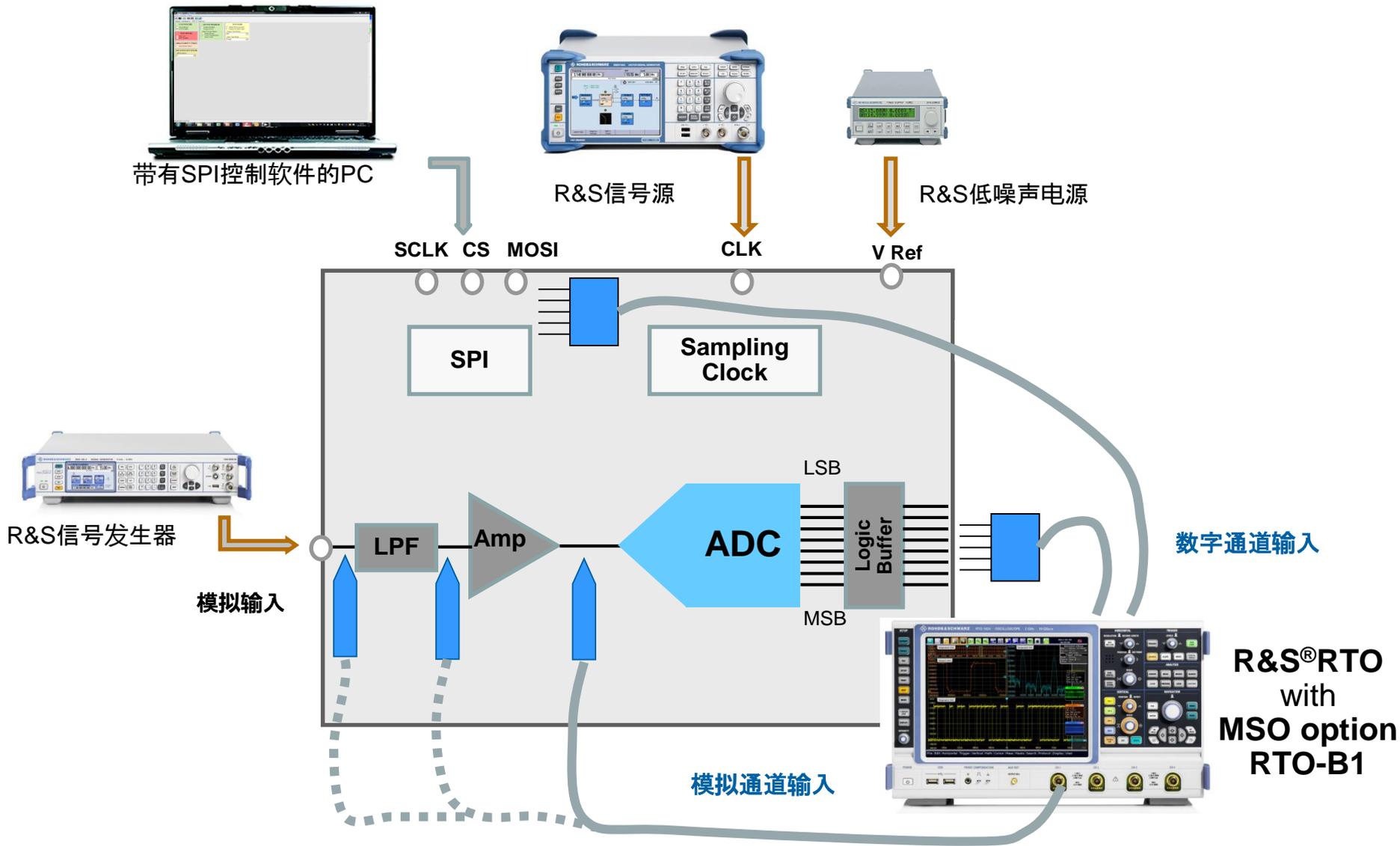
- 丨 ADC的输入部分可以包含滤波和放大器
- 丨 编程控制接口，如SPI
 - 丨 ADC设置(内核, 位数etc.)
 - 丨 输出格式
 - 丨 输出接口(串行, 并行)
 - 丨 采样速率
 - 丨 操作: 开始/停止/重置等.
- 丨 采样时钟
- 丨 专用电源



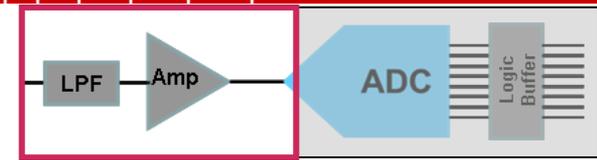
ADC测试需求 测试挑战



RT0示波器测试配置



输入信号质量测试



I 设置

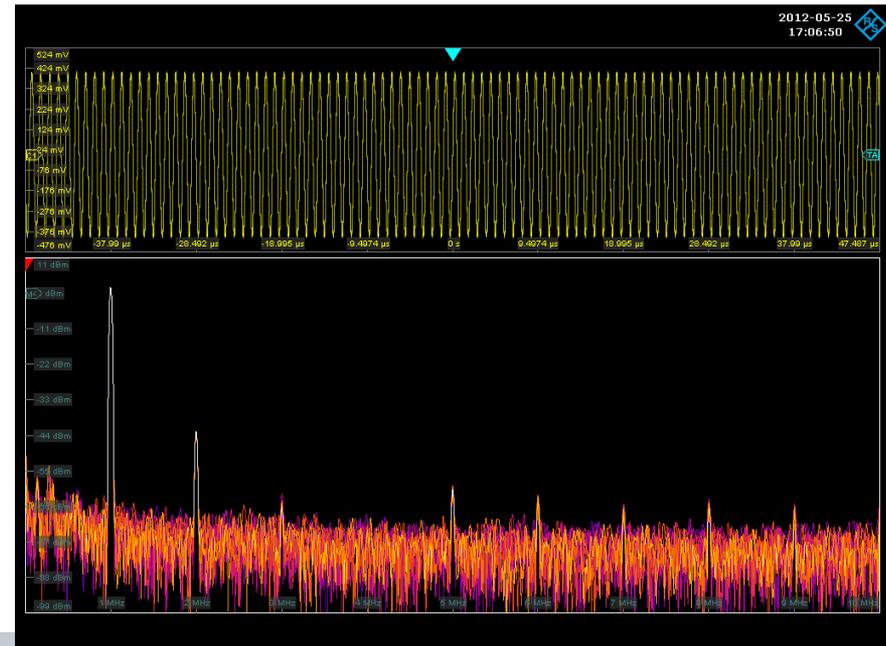
- I 使用探头或电缆连接到模拟输入通道

I 测量

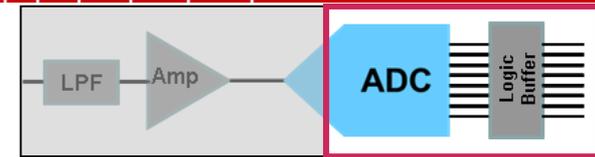
- I 对输入信号做FFT分析，了解信号在不同阶段的性能：
 - 噪声电平
 - 谐波性能/ 杂散
 - 干扰源等

I RT0示波器的优势

- I 高测量动态范围
 - (低噪声, >7bit ENOB)
- I 带宽高达4 GHz
- I 快速方便的FFT功能



测试输出信号质量



I 设置

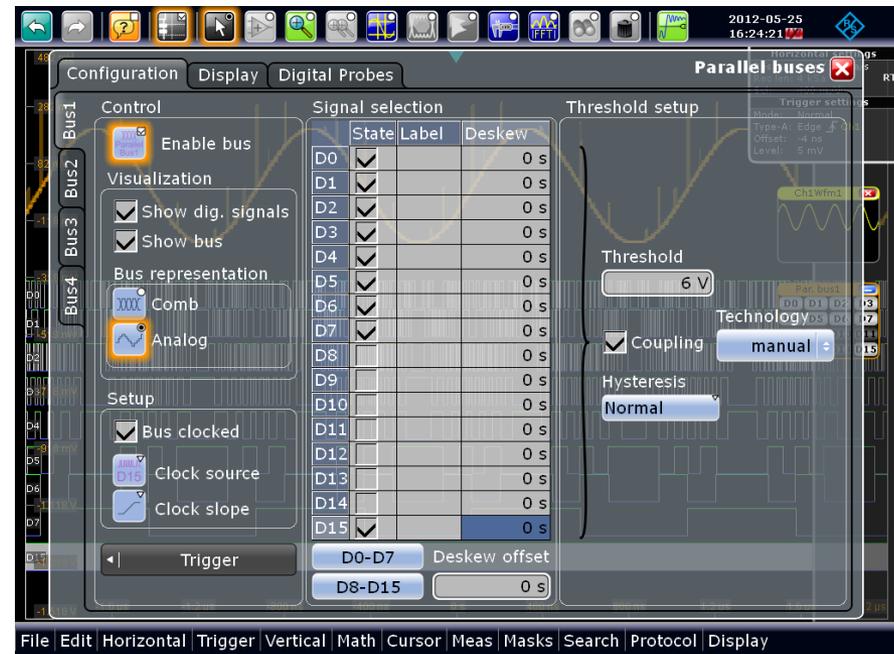
- I 将ADC输出通过探头连接到示波器数字输入通道
- I 各通道的总线定义

I 测量

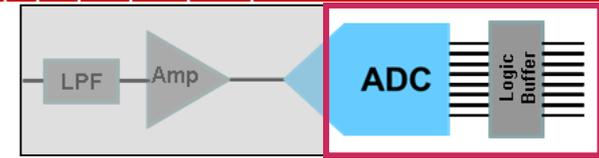
- I 验证输出数据的正确性
- I 分析信号质量

I RT0示波器优势

- I 16通道最高400MHz开关速率
- I 高达5GSa/s采样率
- I 200 Msa每通道长存储
- I 模拟总线显示“analog bus”

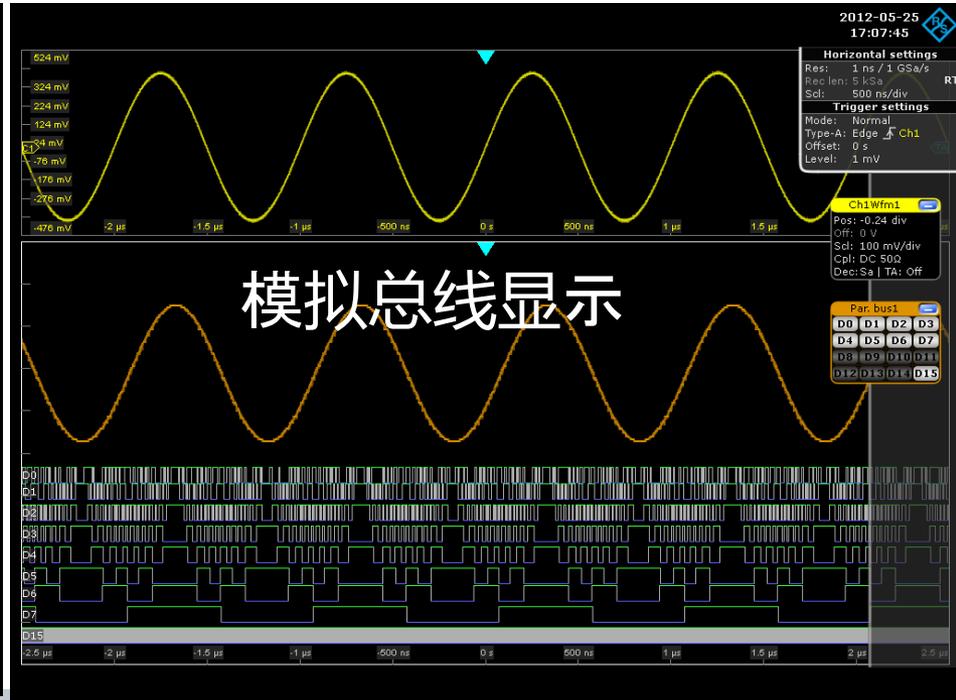
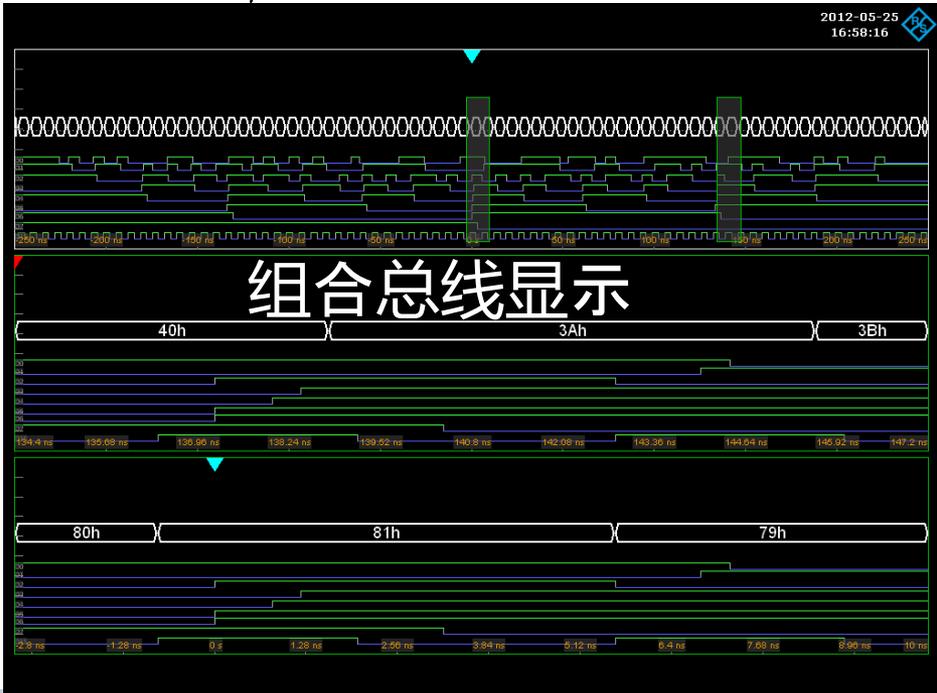


分析输出信号质量 Analog Bus显示



I 总线解码

- I 组合总线显示将一定时间的数据汇总显示
- I 模拟总线显示Analog bus显示总线数据代表的模拟波形
 ➔ 输入和输出信号更容易对照比较



输出信号质量测试

对输出信号做处理



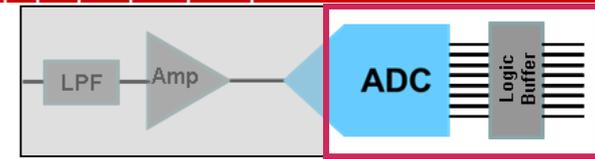
I 分析ADC输出信号

- I 保存模拟总线波形
- I 执行FFT和对应的频谱测量
(FFT需要重新采样加强定时准确度)

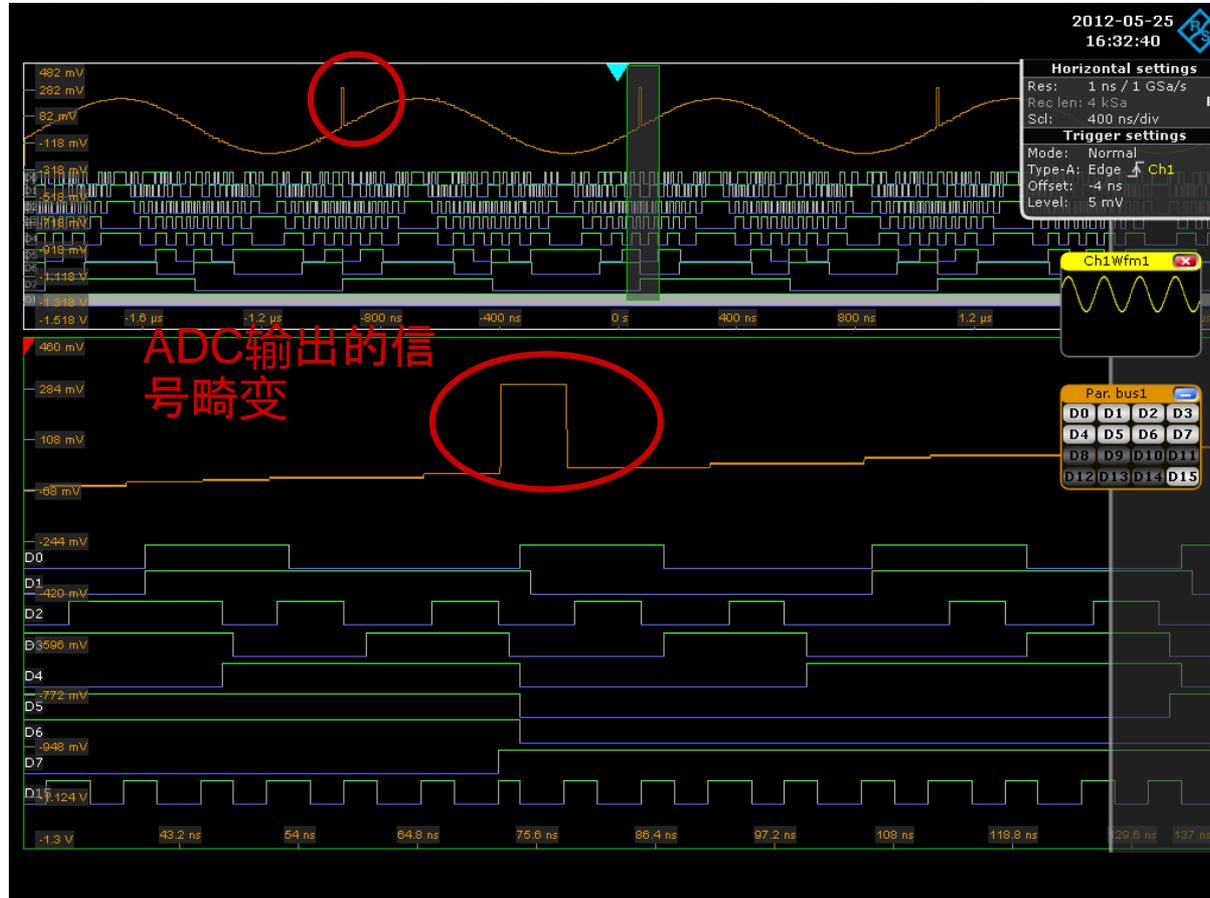


将输入和输出信号关联测试ADC的性能

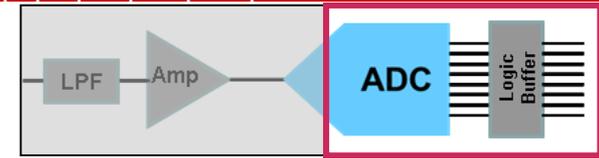
输出信号质量测试 调试(I)



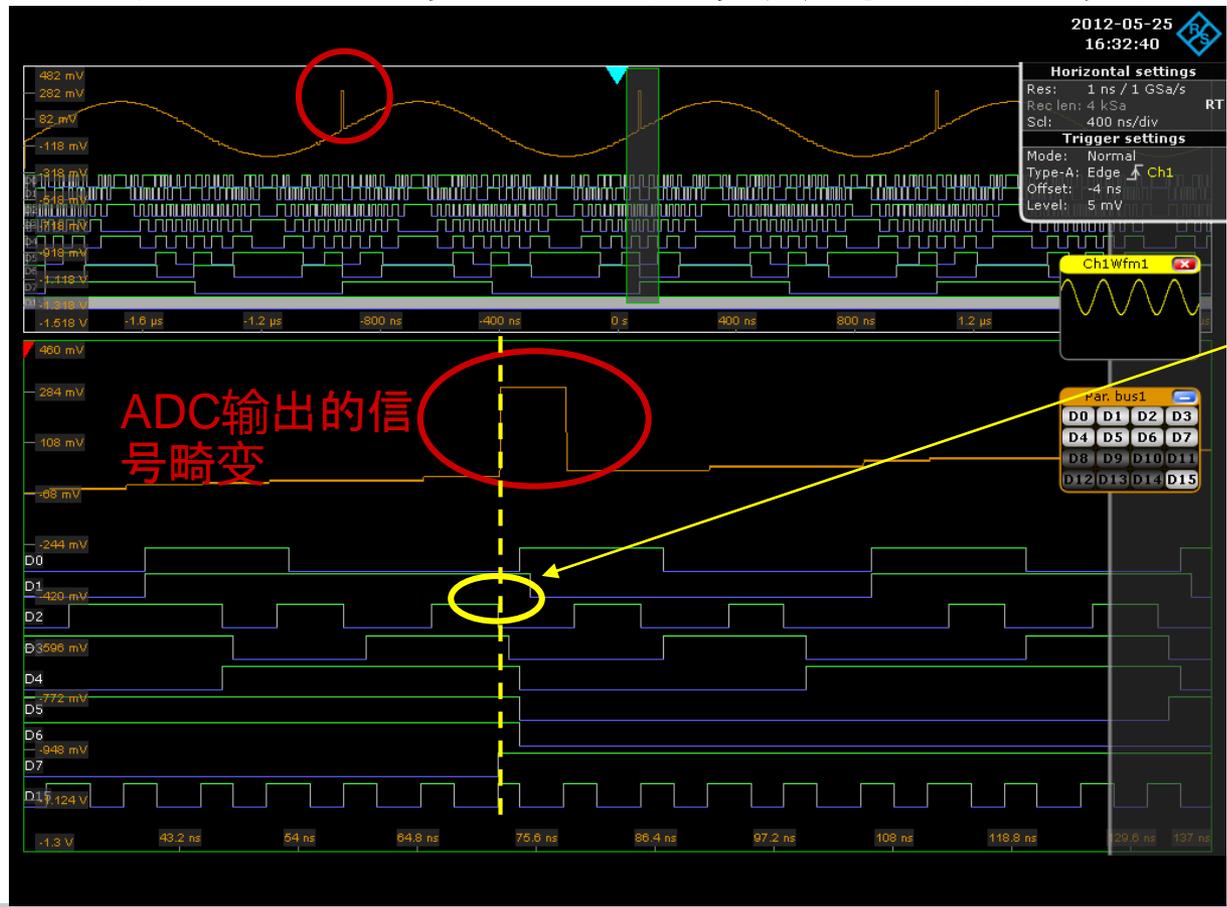
模拟总线显示有助于发现信号畸变



输出信号质量测试 调试(II)

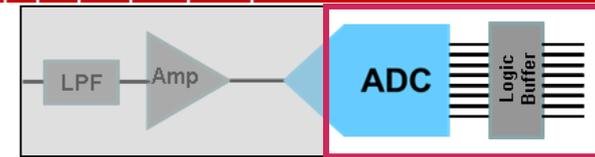


模拟总线显示有助于发现信号畸变

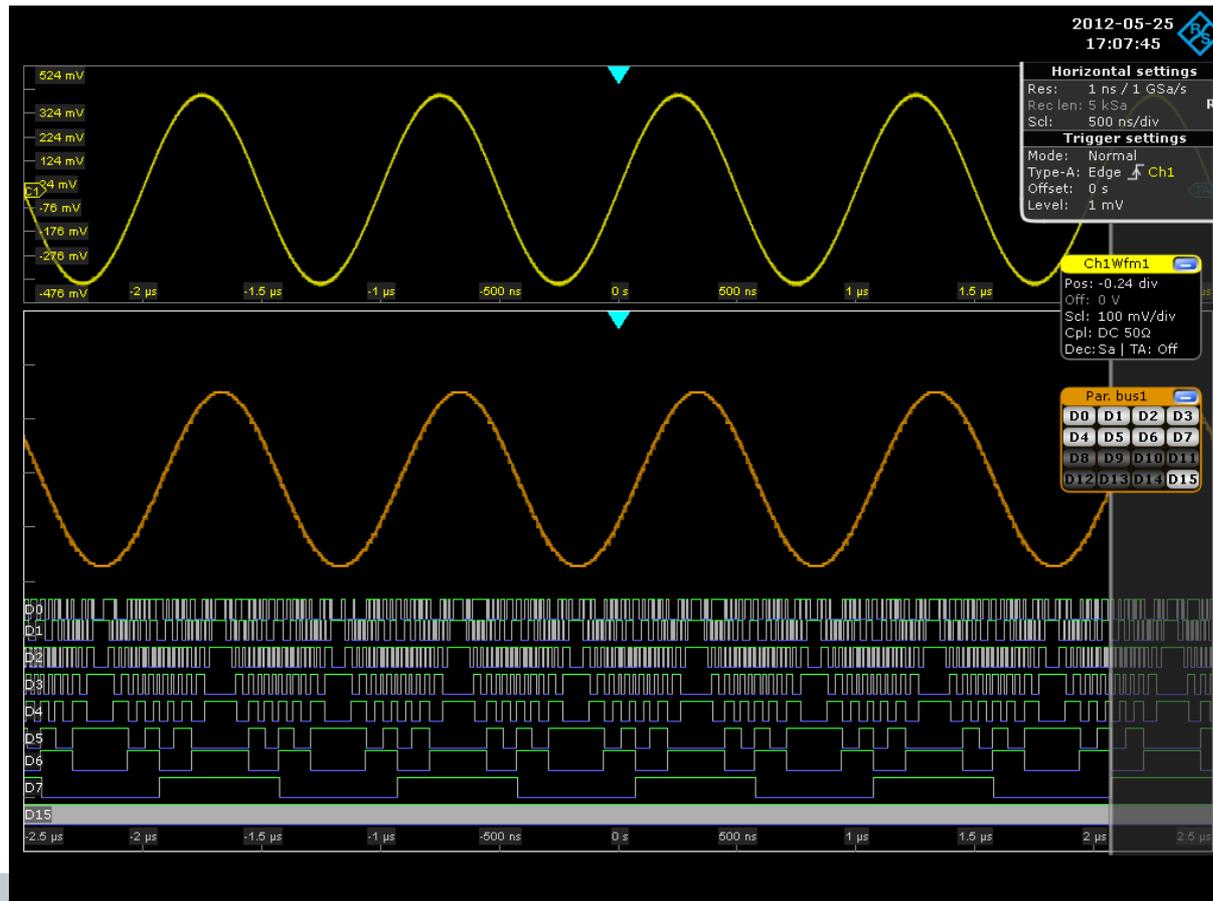


- D2通道的边沿转换
- 将各通道延迟时间校准在，准备进一步验证
- 使用Data2Clock触发做长时间测试

输出信号质量测试 调试(III)

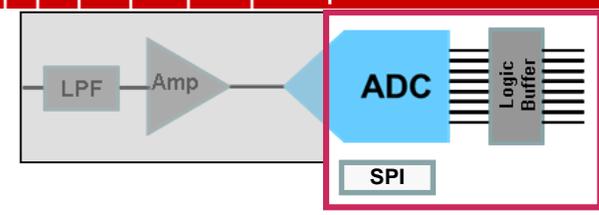


模拟总线显示有助于发现信号畸变



在模拟总线显示中没有毛刺出现。

编程接口测试



I 设置

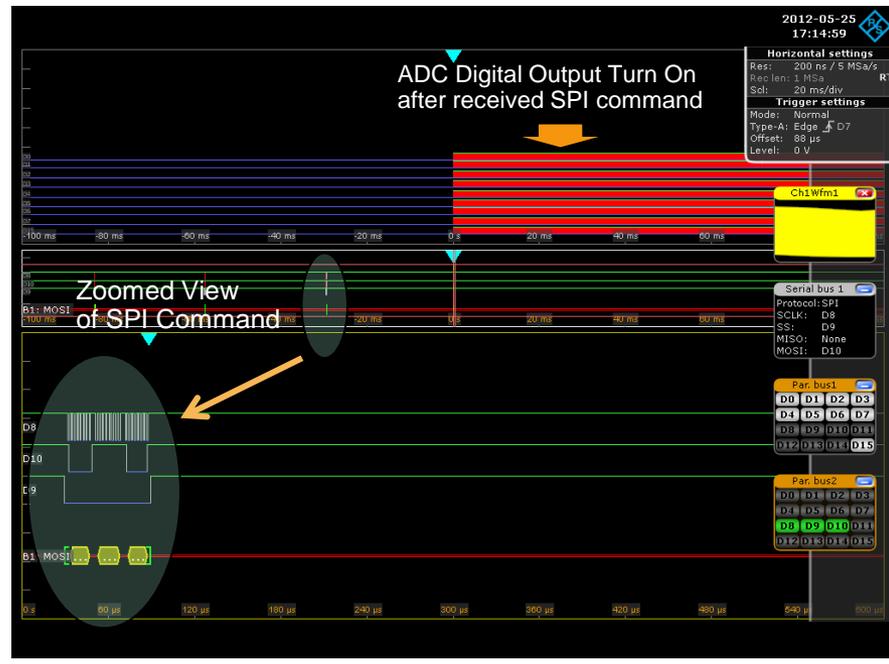
- I 使用数字通道连接SPI接口
- I 使用SPI协议解码，设置触发于SPI “帧起始”

I 测量

- I 测量SPI指令下达到ADC工作的延迟时间

I RT0示波器的优势

- I 具有常用低速串行总线的触发和解码功能
- I 模拟信号、数字信号和总线解码的时间相关测量



小结

- 数字示波器增加MSO功能和总线解码触发功能后，能够胜任嵌入式系统的设计和调试工作
- RT0示波器的MSO功能，技术指标优秀，操作灵活，显示直观，独有的模拟总线显示功能极大提高了混合信号分析效率
- 结合FFT分析功能，RT0示波器还可以完成时域和频域的联合调试，见《高级频谱分析技术与时频域联合调试》一文