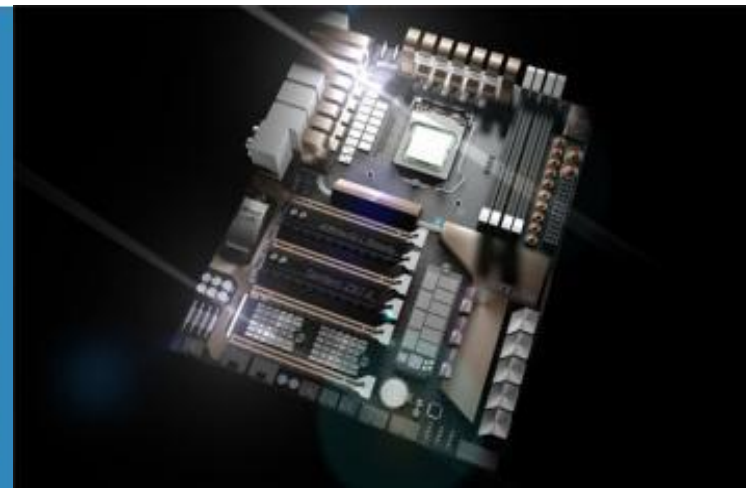


# 混合信号IC的调试



# 混合信号IC调试

1

- 混合信号调试的难点

2

- 波形导航加快模拟信号调试效率

3

- 调试数字信号定时及通讯的问题

4

- 各种串行总线信号解码触发和搜索

5

- ADC/DAC的实现验证

# 混合信号IC应用广泛--泰克和新数字时代



**无线技术无处不在**

基于数字RF技术

**视频应用迅猛发展**

基于数字视频技术

**性能指标日新月异**

基于高速串行技术

**电子应用深入生活**

基于嵌入式系统  
技术

**下一代网络**

基于无线用户数量不断增  
长和网络融合

# 混合信号的环境

► **无处不在!** “混合信号技术需要真正的工程天才, 将模拟数字电路集成在一起, 设计出满足功能和性能要求的产品。”

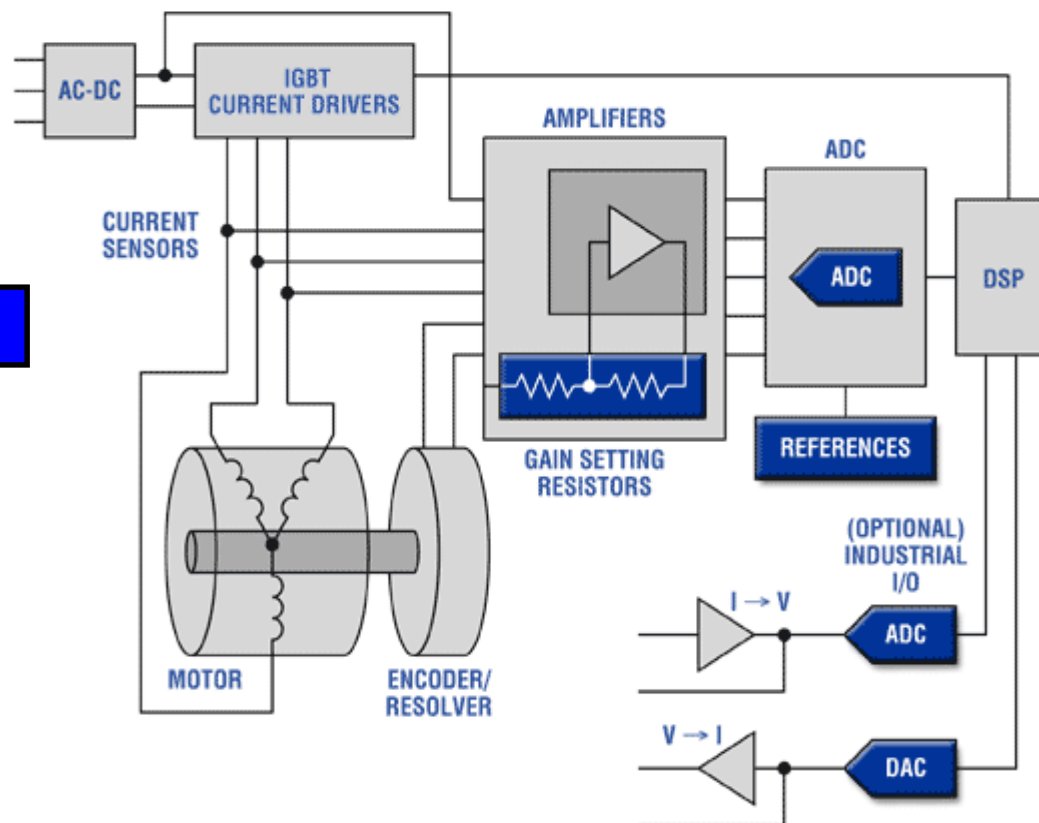


## 集成和连接：

尽管嵌入式系统内部常用的许多技术都存在既定的标准，但主要测试要求是保证所有单元同步，作为无缝集成的整体运行。终端设备可能会包含多个嵌入式系统，部分系统必需相互通信及与外部世界通信(如:I2C,SPI,RS232,RS422,RS485,UART,CAN,LIN,FlexRay,并行等)。这是集成测试的延伸，以保证综合功能、定时操作和通信。这一领域要求测试工具既能评估单个单元、又能评估整个系统！

# 混合信号的实例

Motor Control Overview



模拟信号测量

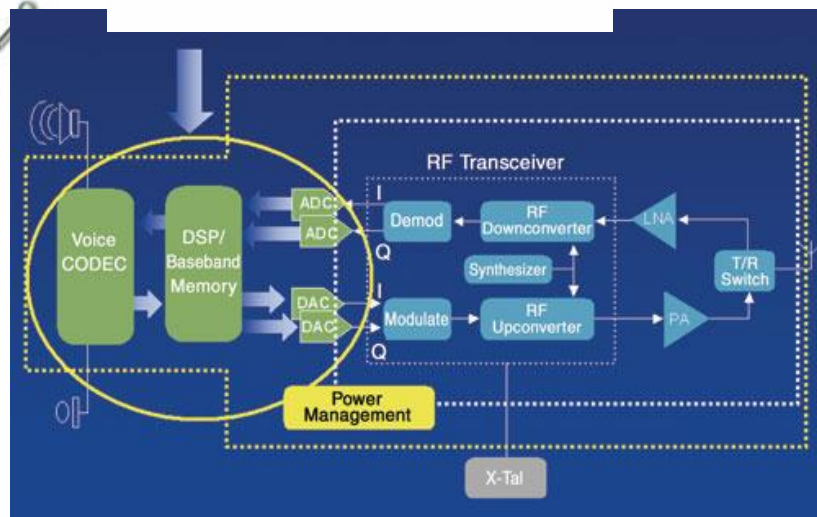
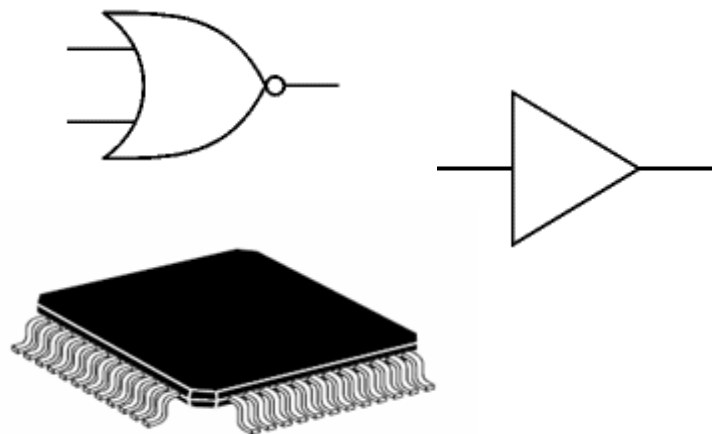
数字信号  
测量

## 混合信号：

随着功能和性能的逐步提高，工程师通常必须在设计中同时处理模拟信号和数字信号。这提高了测试工作的复杂性，要求专用工具既能了解元件内部，又能查看被测设备测试点上发生的情况。

# 嵌入式系统设计的技术构成

- A/D, D/A, DSP, FPGA
- 闪存
  - NAND, NOR
- 嵌入式CPU系统
- 电源
- 并行总线
- 串行总线
  - I<sup>2</sup>C, SPI, RS-232, CAN等



**注意:以上技术包括了模拟,串行和数字技术  
混合信号**

# 混合信号系统设计调试的挑战

- 混合信号设计
  - 绝大部分嵌入式系统设计采用混合技术
  - 工程师不能预测将出现哪种漏洞（模拟和数字）
- 多条总线相关
  - 硬件和软件工程师通常会追踪硬件中的代码执行工作
  - 需要监测微处理器的地址总线和多条串行总线
  - 如果没有通用16个数字通道，解决问题所需的时间很长
- 性能需求
  - 市面上常用技术的性能不断提高
  - 60MHz和100MHz已无法满足当前需求
- 长捕获时间
  - 从并行技术转向为串行技术时需要捕获更多的时间来调试设计
  - 典型的并行总线读写操作一般只发生在几个时钟周期内
  - 串行总线上的同一业务则要求长得多的捕获时间窗口
  - 需要充足的定时分辨率才能解码分析



# 混合信号IC系统设计调试的挑战

- 定时分析
  - 定时测量是数字设计工程师进行的最常见的测量
  - 余量测试是检验时间关系最常见的原因
  - 建立/保持时间测量
    - 建立/保持时间违规的原因很多，如系统极限、端接不当或串扰等
    - 很难确定在哪个位上发生违规，工程师需要能够监测整个总线
    - 工程师希望足够的分辨率测量和分析违规
- 毛刺
  - 毛刺是工程师棘手的一个常见问题
  - 毛刺很难触发采集
  - 工程师希望使用工具简便的找到毛刺
- 连接被测设备DUT
  - 更高的集成度和小型部件正迫使工程师处理探测问题
  - 通常工程师会在电路板上为关键信号建立接入点
  - 在没有提供接入时，蓝线会焊接起来，使用抓斗夹进行连接

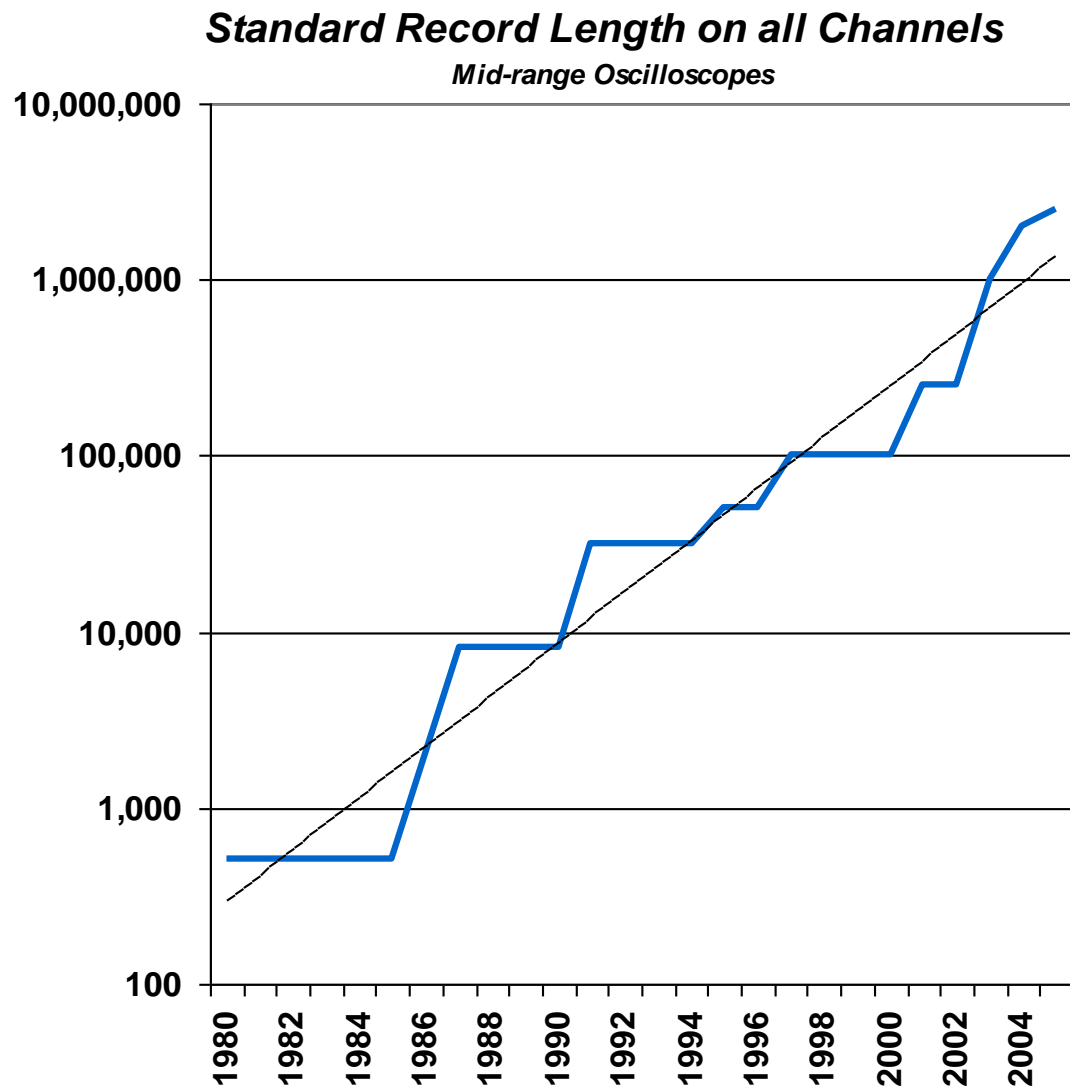


# FPGA设计调试的挑战

- FPGA的设计速度、尺寸和复杂度明显增长
  - 整个设计流程中的验证和调试部分成为当前FPGA系统的关键部分
- 获得FPGA内部信号有限、FPGA封装和PCB电气噪声
  - 设计调试和检验变成设计周期中最困难的流程
- 高速并行总线接口正迅速向高速串行接口方向发展
  - FPGA也不例外，每一条物理链路的速度从600Mbps到高达10Gbps
  - 高速IO的测试和验证更成为传统专注于FPGA内部逻辑设计人员的巨大挑战
- 需要新的调试和测试工具，帮助调试设计，同时支持在FPGA上全速运行

# 在传统电子测试中我们正面临着前所未有的机遇和挑战

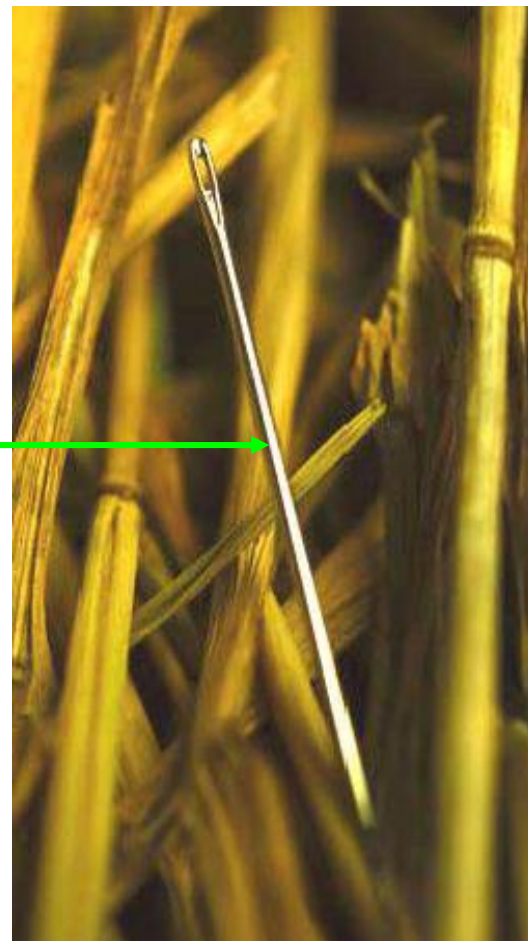
- 第一部数字示波器的记录长度约为500点
- 在过去25年中记录长度一直在逐步提高
- 当前大多数示波器的标配记录长度是100,000+样点



# 在今天的测试领域中,您是否仍在被类似的问题所困扰?!

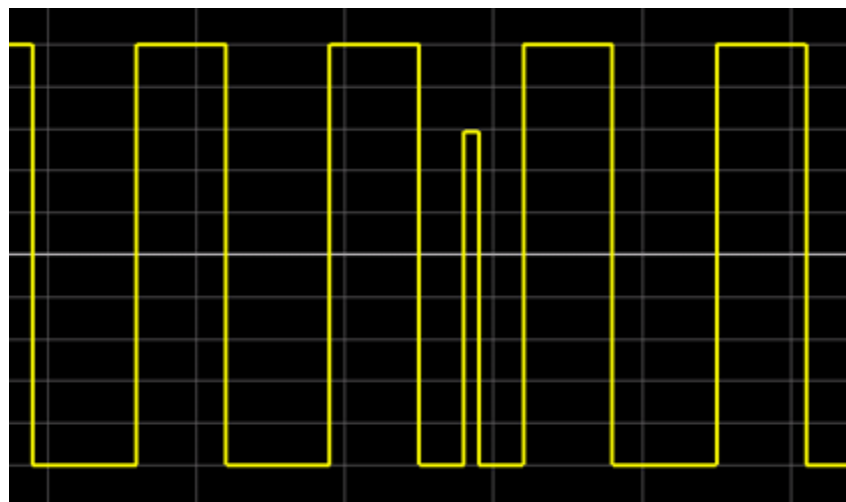
■ **针在哪里?** 3m左右,  $2.5 \times 10^{-10}$

0.03m左右



# 利用现代数字示波器进行数字系统查障的挑战

- 假设一时钟信号每500或更多个时钟周期出现一次毛刺等异常故障
  - 我们可以将该信号理解为SI的问题，比如：阻抗不匹配，端接，反射导致的时钟信号毛刺
  - 如何有效的使用示波器隔离并观察到该问题
  - **若我们采集的时钟周期远大于500个时钟周期，如何确保示波器捕获隐藏其中的所有异常，并能够迅速的对其定位以及有效的放大其细节**

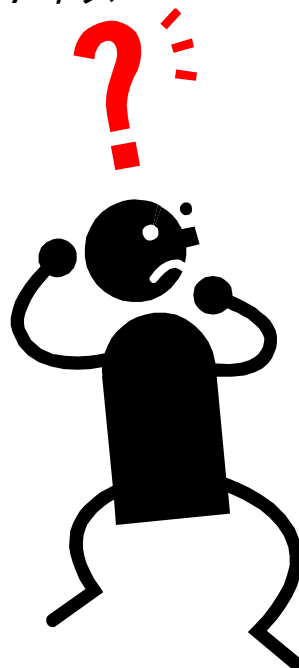


# 您面临着艰难的抉择

- 高速信号:以5GS/s速率捕获2ms的100MHz信号
- 低速信号:捕获一帧NTSC(1/30秒间隔的两个场,取样速率为100MS/s,以解析所有亮度信息)

是以低分辨率采集更长的时间?

还是以高分辨率采集较短的时间?



还是鱼肉熊掌均可兼得!

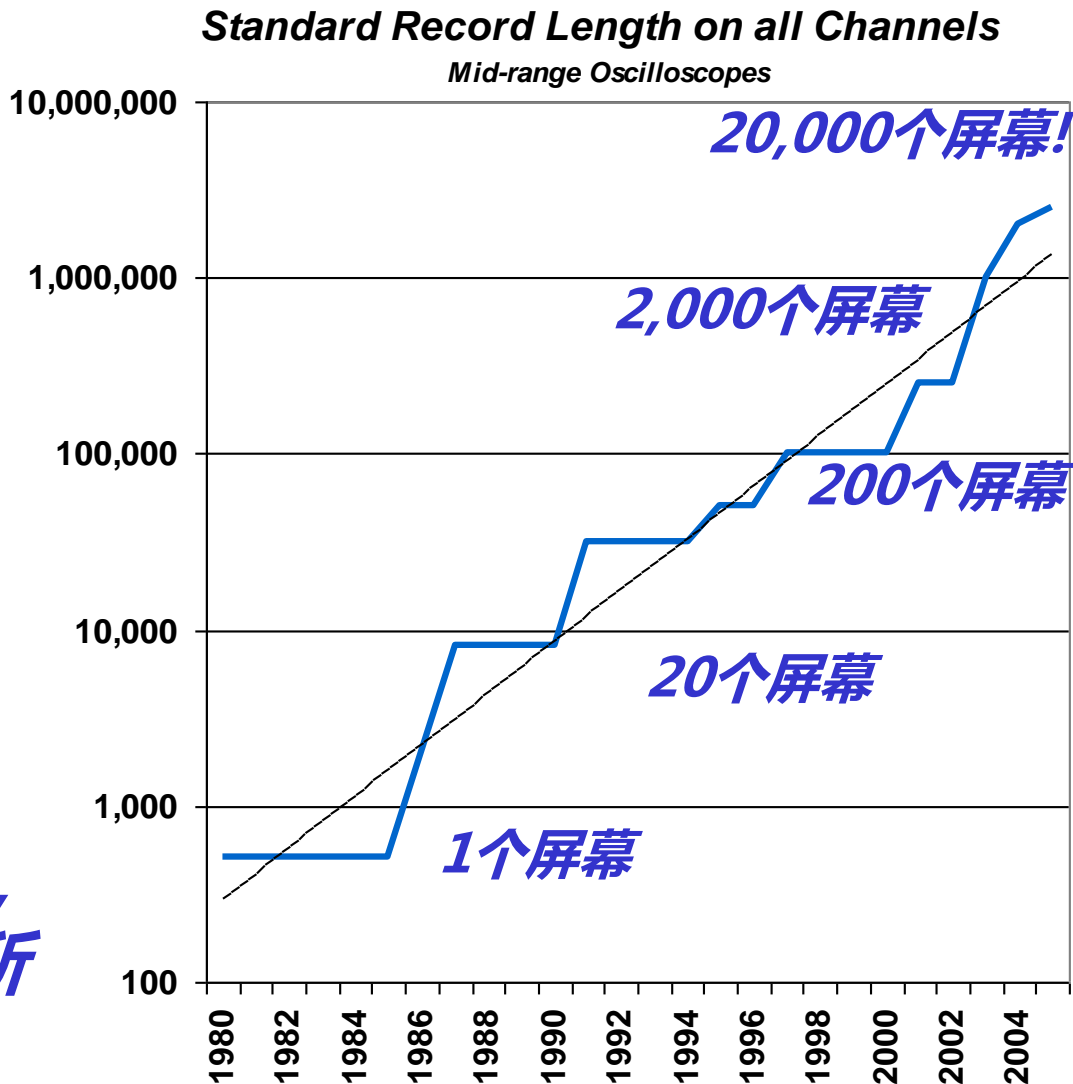
# 选择鱼肉和熊掌兼得

- 一个非常理想得选择,这意味着:
  - 高速信号:以5GS/s速率捕获2ms的100MHz信号
    - 需要采集1000万点的数据(2ms除以200ps取样间隔)
  - 低速信号:捕获一帧NTSC(1/30秒间隔的两个场,取样速率为100MS/s,以解析所有亮度信息)
    - 需要采集300多点的数据(33ms除以10ns)
  - 在1Mb/s的CAN总线上捕获几秒的总线业务,诊断机电系统中的问题
    - 需要采集1000万点,以充分进行解析

# 长存储----这意味着:

- 以高分辨率捕获长时间的信号活动窗口
- 感受 – 按Stop及查看结果要比配置高级触发器更容易
- 长时间观察触发事件前和触发事件后的系统行为
- 保险

然而,我怎样大海捞针,  
从庞大的数据中找到所需的信息?





# Wave Inspector带来和你使用Google-样的感受

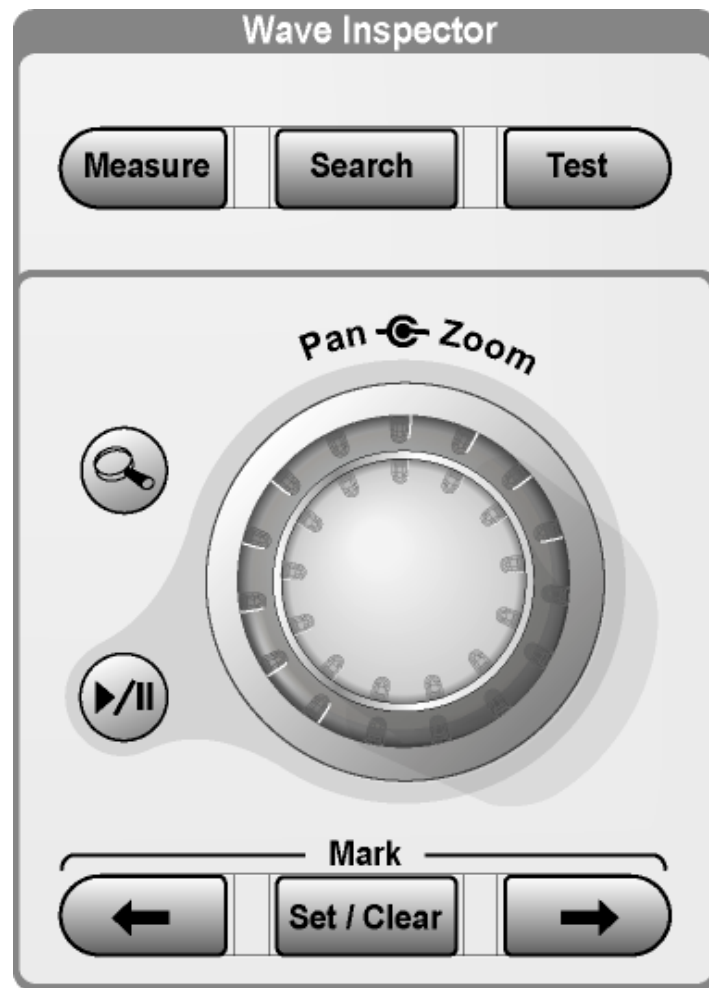
- 您了解Wave-Inspector吗？

- 现代数字示波器可以捕获海量数据，这既是好事，也是坏事。您想要所有数据，正因如此，您需要使用示波器。但直到现在，在庞大的数据中找到所需的数据不亚于大海捞针，是一个非常耗时麻烦的过程。配有Wave Inspector的DPO/MSO4000系列示波器为您提供了所需的功能，可以高效地满足您的需求，而这种效率是以前的示波器所不能想象的。这些应用及各种其它应用已经推动、且将继续推动对更长、更详细的数据捕获窗口的需求。
- 作为类比，想象一下如果没有喜欢的搜索引擎、网络浏览器或收藏夹的帮助，却想找到您要找到的东西，这有点象大海捞针。直到现在，这一直是示波器用户在长记录长度示波器中所面临的问题。很明显，旧的解决方案不再能够奏效。



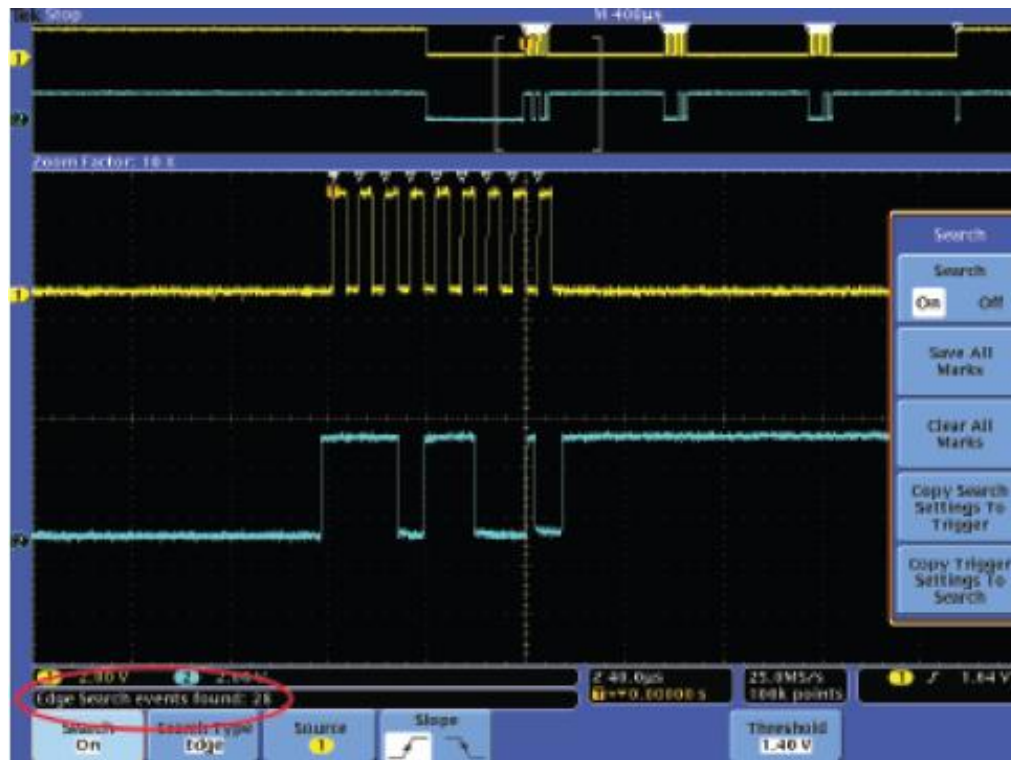
# DPO/MSO系列数字荧光/混合信号示波器所独有的 Wave Inspector

- Wave Inspector对示波器就象是  
Google 联网一样重要
- 专用前面板控制功能：
  - 缩放
  - 平铺
  - 播放 / 暂停
  - 设置 / 清除标记
  - 在标记之间导航
  - 搜索和标记
- 强制外圈反馈
  - 旋转得越远，速度越快
  - 反向旋转旋钮，改变方向或减慢速度
  - 异常直观
- 大大改善了几乎每个客户都会关注的操作便捷性！



# Wave-Inspector应用

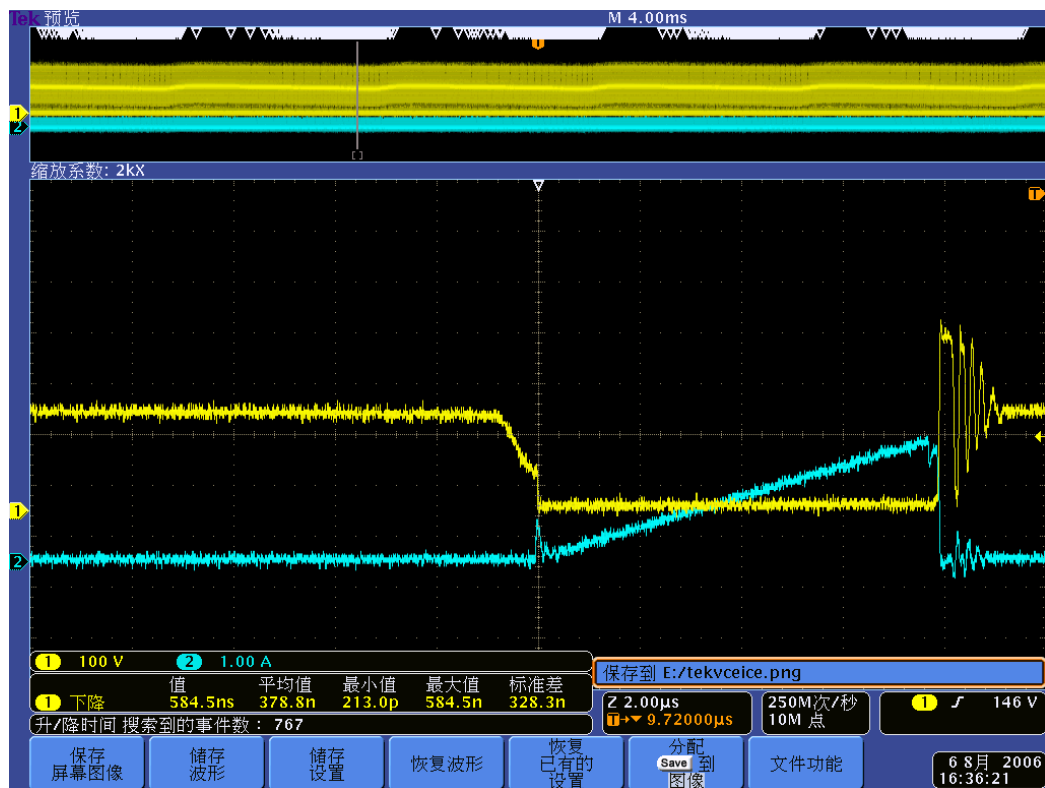
- 在检查信号时，您可能会发现许多波形区域需要进一步考察，或可以在其余分析中作为参考点使用。通过Wave Inspector®控制功能，可以把标记手动放在波形上，使用前面板和按钮，从一个标尺跳到下一个标记，而不要调节缩放标度或位置。除把标记手动放在波形上，Wave Inspector®搜索功能还可以搜索整个采集，自动标记每次发生的用户指定事件。
- 手动使用搜索和标记：
  - 1. 缩放信号，在屏幕中心定位感兴趣的事件。
  - 2. 按**Mark Set/Clear**前面板按钮。
  - 3. 对感兴趣的所有信号重复上述操作。
  - 4. 按->和<-箭头按钮，在事件之间即时跳动。
- 自动查找感兴趣的事件：
  - 1. 按**Search**前面板按钮。
  - 2. 选择**Search Type** (与选择触发类型类似)，输入搜索标准。
  - 3. 注意所有匹配的事件都在瞬间标上三角形。
  - 4. 与手动标记一样，使用->和<-箭头在搜索结果之间导航。



# Wave-Inspector应用

## Vce&Ice导通分析

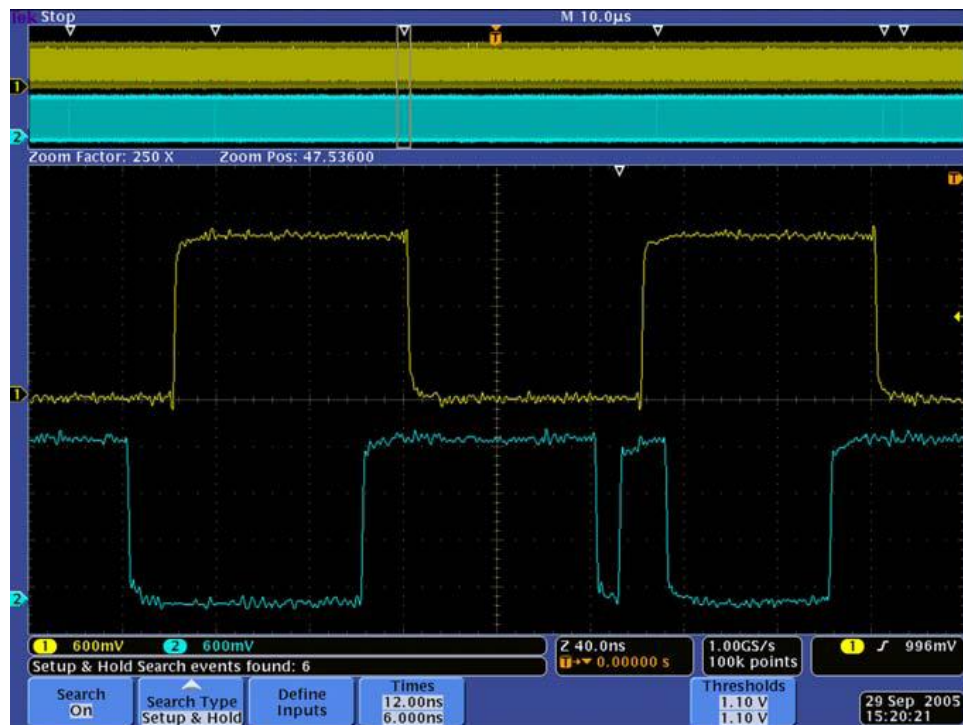
- 捕获多个工频周期，利用DPO4000超长的记录长度（每个通道10M）逐个对Vce的导通波形细节放大分析
- 若Vce的导通时间过慢，将会导致开关器件的Ton损耗过大。
- 通过Wave Inspector技术查找所有超过正常导通时间的Vce可极大节省调试时间。



# Wave-Inspector应用

## 发现建立保持问题

- 数字电路系统中有大量的时钟逻辑设备，每一个芯片都有制造商定义的建立保持时间限制
- 建立时间是在时钟沿到来前，数据信号必须保持稳定的时间限制
- 保持时间是时钟边沿到来后，数据信号必须保持稳定的时间，保证输出端能够稳定
- 违反建立保持时间要求将导致芯片输出信号中无法预测的毛刺问题，甚至造成无法输出正确信号 ...



我们使用的部件公开的建立时间和保持时间分别是12 ns 和6 ns为使示波器自动找到这些超限，我们只需告诉它时钟在通道1上，数据在通道2上，设置门限，输入希望的建立时间和保持时间。然后示波器检查整个采集中相对于每个时钟边沿的定时，标明指定建立时间和保持时间超限发生。在图中我们搜索得到六次超限。六个事件在上方窗口中标上空心的白三角号。下方的窗口显示了其中一个超限的放大图。可以清楚地看到，数据线上的窄负脉冲超出了12 ns 建立时间。



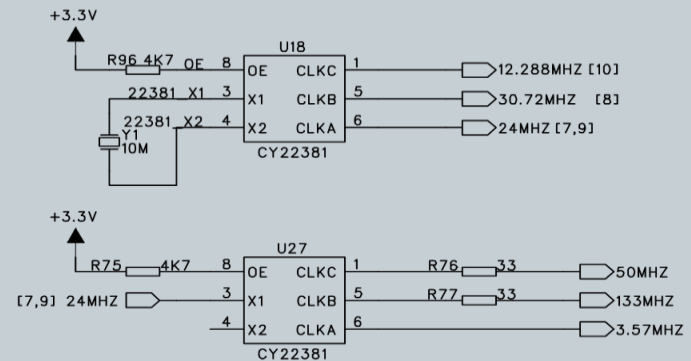
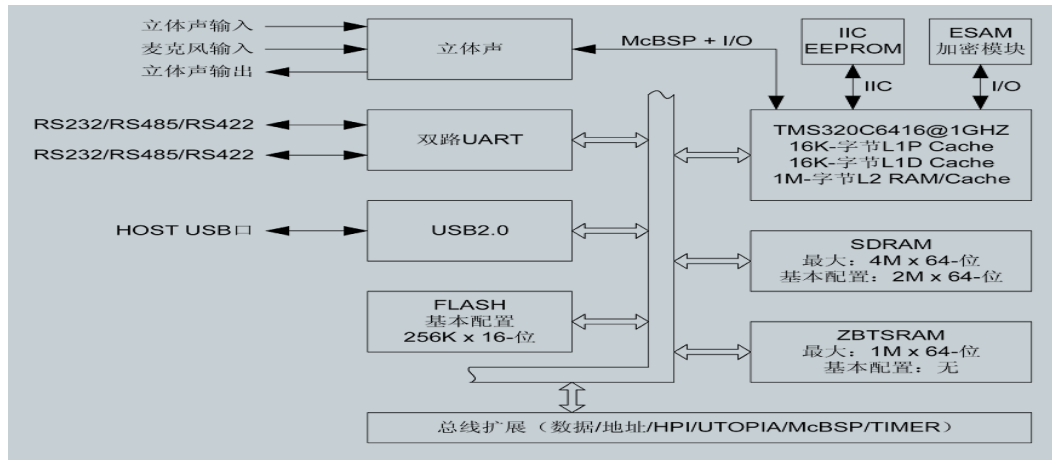
# 调试数字定时问题

- 数字设计人员必需迅速找到和分析各种电路定时问题。例如，数字电路中的建立时间和保持时间违规可能会导致不可预测的电路操作。MSO/DPO系列提供了捕获违规的建立时间和保持时间触发功能，同时它提供了搜索功能，自动确定采集内部的所有违规。此外，通过MSO示波器，您可以监测整个并行总线中的建立时间和保持时间。
- 为找到建立时间和保持时间违规：
  - 1. 按**Trigger Menu**前面板按钮。
  - 2. 在侧面菜单中，按**Type**，直到选择**Setup & Hold**。
  - 3. 使用多功能旋钮，设置所需的最小建立时间和保持时间。
  - 4. 按**Search**前面板按钮。
  - 5. 选择**Search on Setup & Hold**，输入搜索参数或选择**Copy Trigger Settings to Search**。
  - 6. 注意其立即标出建立时间和保持时间违规数量，它们用白色三角形标出



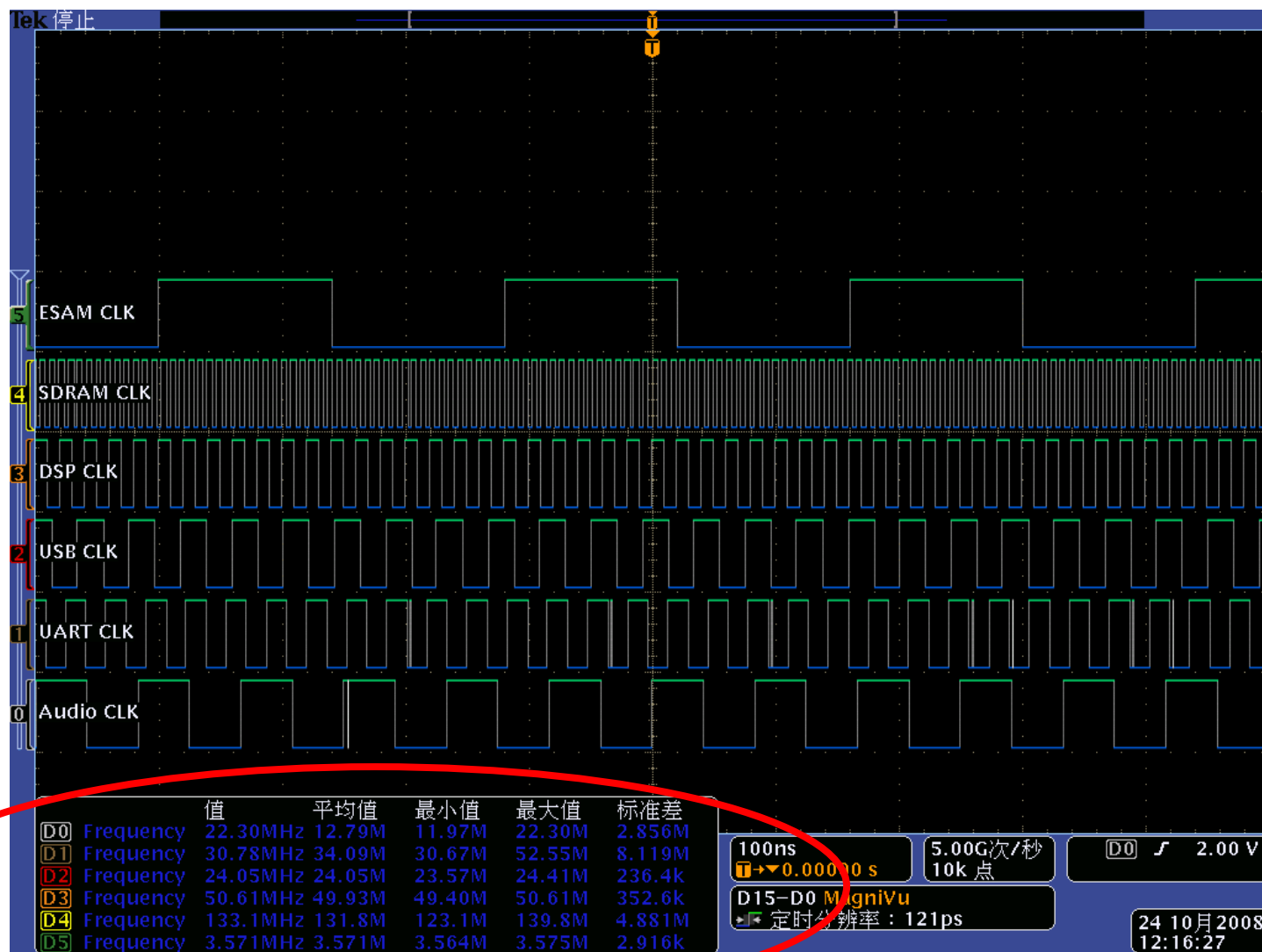
# 验证DSP系统时钟同步

- DSP系统需要主时钟和存储器同步时钟，以及丰富的外设时钟，如Audio，UART，USB等
- 采用多路可编程时钟芯片实现
- 验证各路时钟输出是否同步及时钟实现尤为重要





# 利用MSO的多条数字通道测量时钟同步及实现



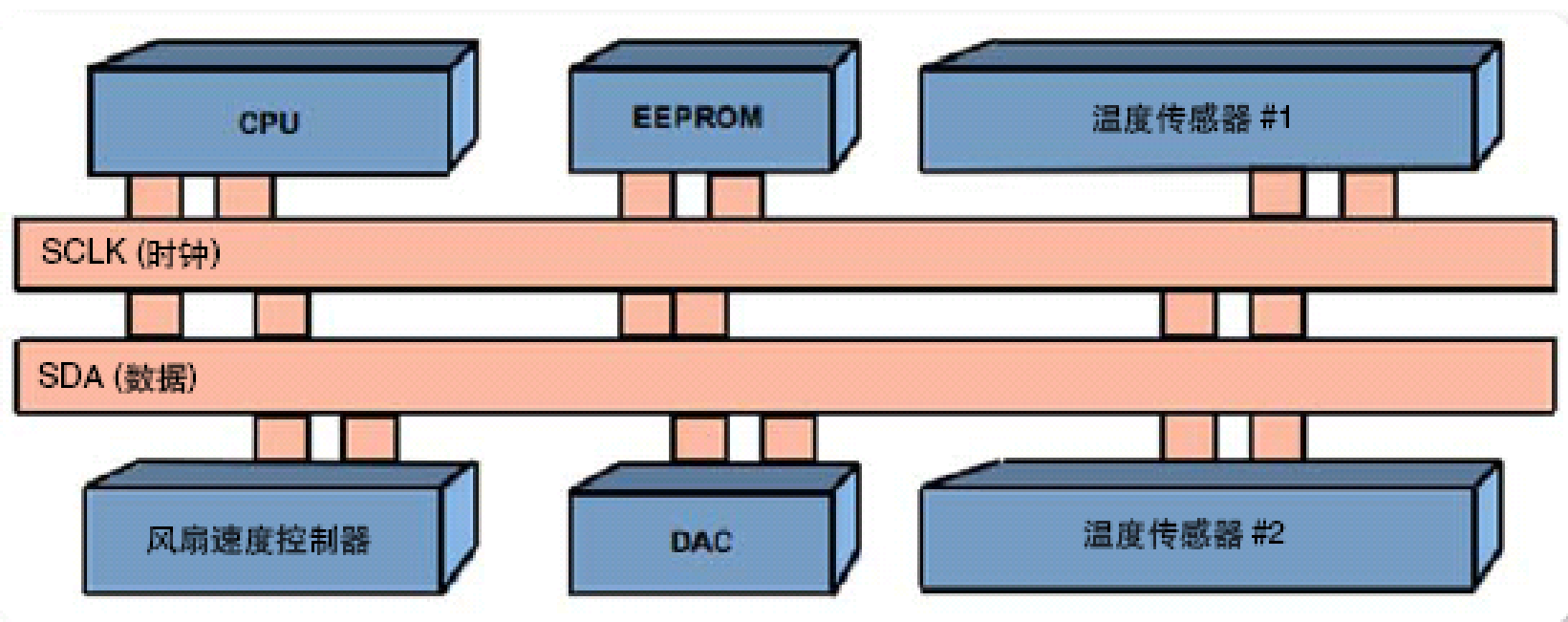
同时可测量多达8个数值

# 捕获和解码嵌入式串行总线

- 串行总线在嵌入式设计中的使用量的提高，推动着对更长的高分辨率捕获窗口的需求。但是，串行总线波形解释起来非常困难。硬件工作正常吗？是否有软件漏洞？系统噪声是否影响总线传送？
- MSO/DPO系列选配的串行触发和分析功能可以迅速捕获和解码I2C和SPI等串行总线业务，帮助检验和调试设计。
- 触发I2C串行信号：
  - 1. 连接串行数据和时钟信号。
  - 2. 按**B1**前面板按钮，把输入定义为I2C串行总线。
  - 3. 按**Trigger Menu**前面板按钮。
  - 4. 选择**Bus**触发**Type**。
  - 5. 选择要触发的信号事件，如某个**Address**上的任何活动。
  - 6. 注意屏幕底部解码后的总线波形，它提供了简便的时间对准的串行信号解码。



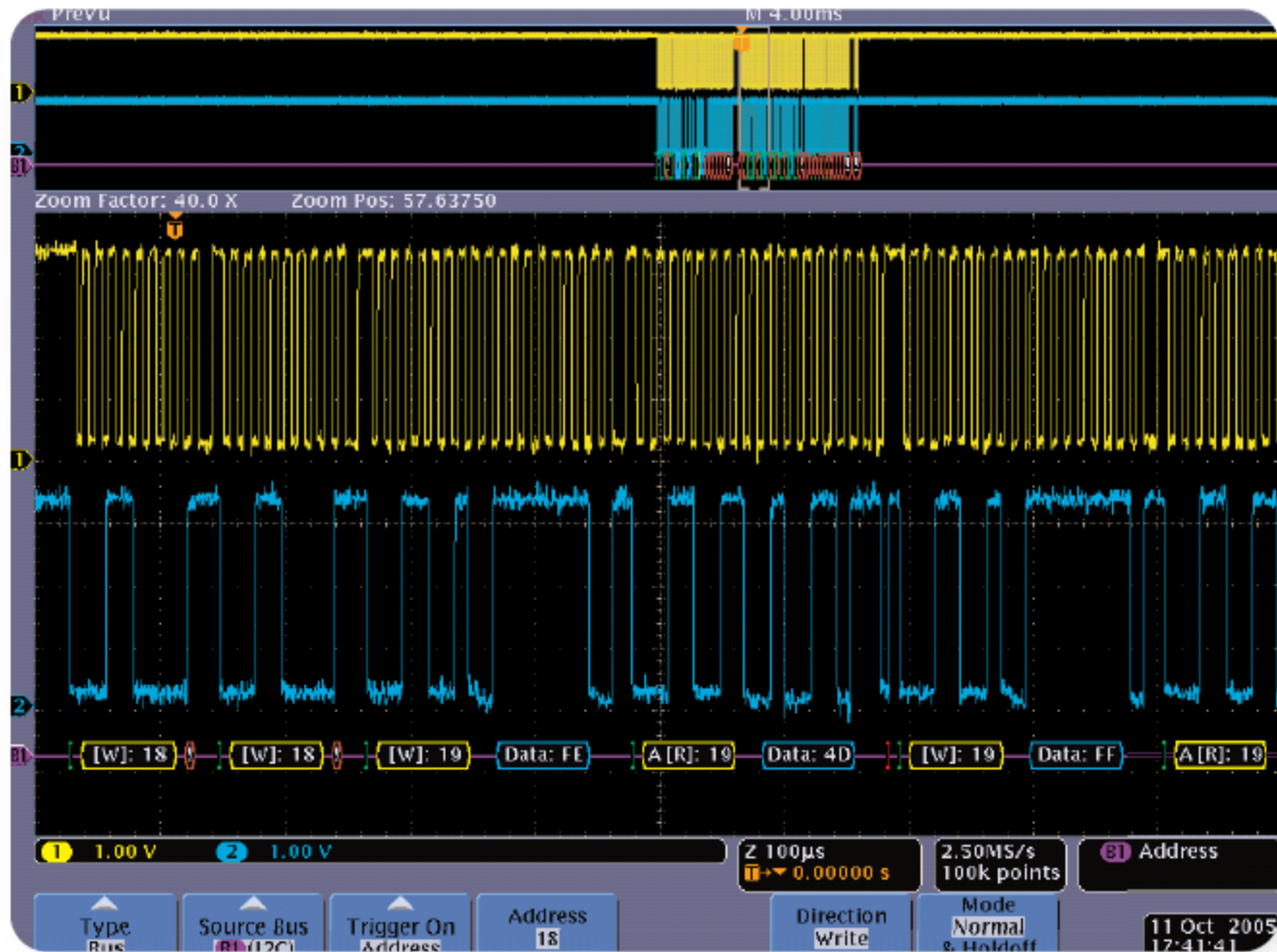
## 嵌入系统串行总线调试举例：空调控制系统调试



- 上图的仪器散热控制系统在实验中总是发生过热现象
- 拆下风扇速度控制器发现其工作正常，怀疑其它系统有问题
- 测量I2C总线的时钟和数据，看看整个的仪器运行情况

# 嵌入系统串行总线调试面临的挑战

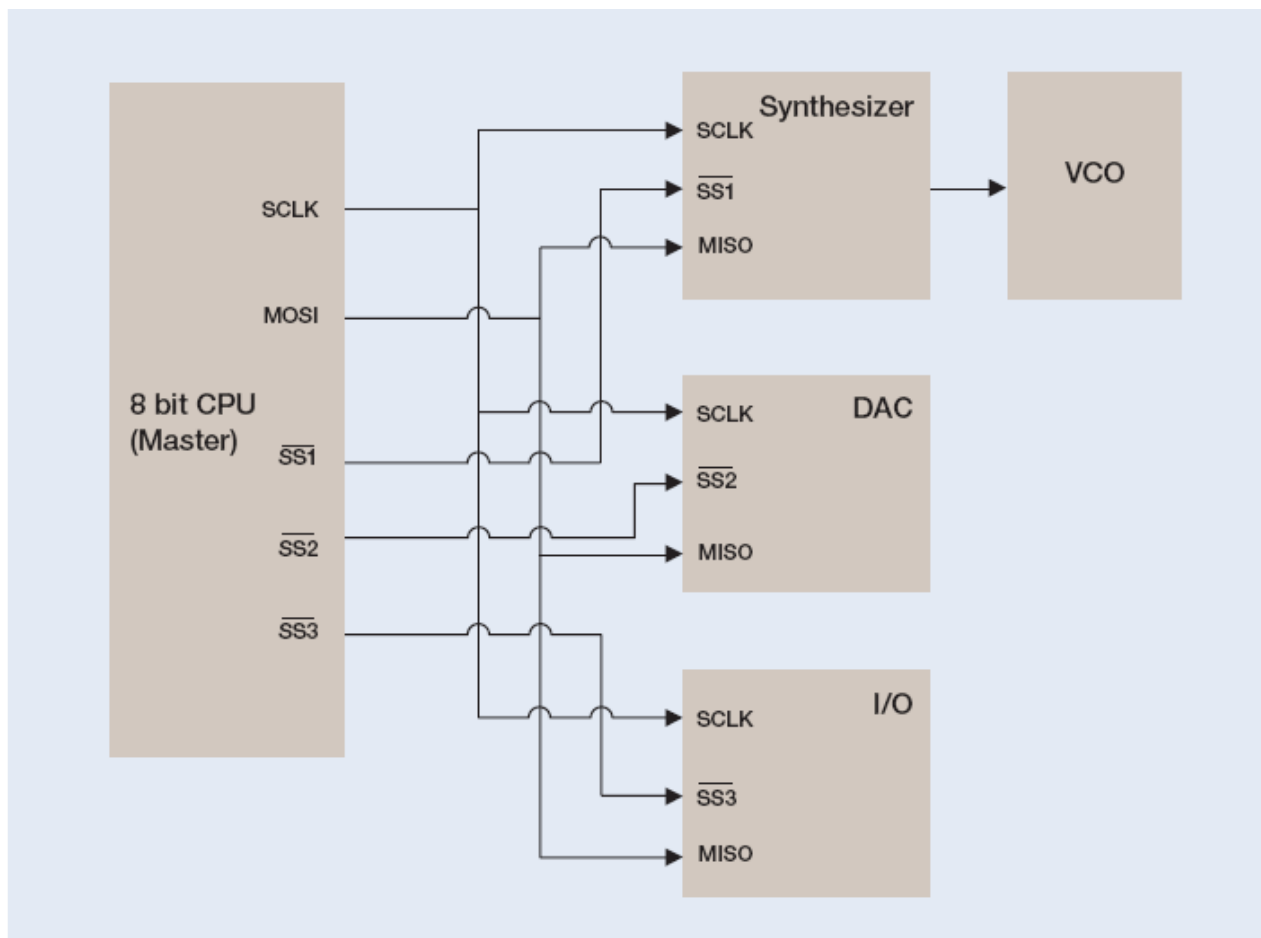
## 测量结果- 1分钟搞定问题



- 我们看到系统连续向地址为18的设备写入2次，都没有收到确认
- 18号为温度传感器1的地址
- 我们发现温度传感器电路有焊接问题

# 基于MCU的SPI调试

- 下图中的嵌入式系统。一条SPI总线连接到一个合成器、一个DAC及某个I/O上。合成器连接到VCO上，VCO为其余系统提供一个2.5 GHz时钟。假设在启动时，由CPU应该对合成器编程。但是不知道哪里出了问题，在VCO固定在轨道上生成在产生3 GHz的信号时，发生了某个问题。调试这个问题的第一步是考察CPU和合成器之间的信号，确定存在信号，没有物理连接问题，但我们找不到发生了什么问题。



## 基于MCU的SPI调试（续）

- 我们决定看一下SPI总线上传送的合成器编程使用的实际信息。为捕获这些信息，我们把示波器设成在合成器Slave Select信号激活时触发采集，并对DUT通电，捕获启动编程命令
- 通道1 (黄色)是SCLK，通道2 (青色)是MOSI，通道3 (洋红色)是SS。为确定我们是否对设备正确编程，我们看一下合成器的产品资料。总线上的前三个消息假设是初始化合成器、加载分路器比率、锁存数据。根据技术数据，前三个传送中最后半个字节(一个十六进制字符)应该分别是3, 0和1，但我们看到的是0, 0和0。在消息末尾全是0时，我们认识到，我们在SPI中犯了一个最常见的错误，即在软件中以相反的顺序在每个24位字中对各个位编程。在迅速改变软件配置后，得到下面的采集，VCO正确锁定在2.5 GHz





# 处理RS232

- DPO/MSO支持串行触发和分析RS-232总线。您可以在示波器上方便地查看RS-232、RS-422、RS-485或UART数据，而不需连接PC或专用解码器
- 通过使用前面板总线按钮，我们可以输入基本参数，如使用的通道、位速率和奇偶性，定义RS-232总线
- 想象一下您有一台设备轮询传感器，请求通过RS-232总线传送数据。传感器没有对数据请求作出应答
  - 您必须得确定传感器是不是没有收到请求，或者是不是收到请求、但忽略了请求
    - 探测 Tx 和 Rx 线路，在示波器上设置一条总线
    - 把示波器设置成在通过 Tx 线路发送数据请求时触发采集



图 16. 测量两条 RS-232 总线上的消息时延。



# 串行触发和解码

- MDO提供的不仅仅是解码
  - 触发数据包内容
  - 搜索和标记数据包内容
  - 使用Event Table格式查看数据

tek Stop

Time	Identifier	DLC	Data	CRC	Missing Ack
-128.2ms	1597EEB2	8	B8FD BF1A 1D0C 28B53C7E		
-68.82ms	1597EED1	8	B8FD BF2A 1D0C 28B54863		
-36.38ms	734	0	Remote Frame	1C27	
-24.005s	734	3	0000 FF	2D87	
34.95ms	76D	2	000A	ACB	
92.43ms	1597EEA3	6	00FD 000A 1D0C	5F84	
98.51ms	Overload Frame				
153.1ms	1597EEB2	8	0272 DFAE 4FFF F1022180		
213.4ms	1597EED1	8	0D0A 0BDF 37D3 0F012F6E		
273.4ms	1597EEA3	8	0000 00DE 55CB FASL1DBD		
321.8ms	1597EEB2	3	00DF EF	930	
361.0ms	1597EEA3	0	Remote Frame	AAB	
459.7ms	734	8	FF81 55DF EFCF 45A183C		
511.9ms	76D	8	FF00 00FF FF00 00EE706A		
565.0ms	76D	8	2DF6 DAFF FF00 00EE706A		
625.0ms	1597EEB2	8	37D3 55FF FF00 00EE216E		

a selects an event

Bus B1 CAN Define Inputs Thresholds Bit Rate B1 Label CAN Bus Display Event Table

Trigger On a
SS Active
MOSI
MISO
MOSI & MISO

*SPI*

Trigger On a
Start
Repeat Start
Stop
Missing Ack
Address
Data
Address/Data

*I<sup>2</sup>C*

Trigger On a
Tx Start Bit
Rx Start Bit
Tx End of Packet
Rx End of Packet
Tx Data
Rx Data
Tx Parity Error
Rx Parity Error

*RS232*

Trigger On a
Start of Frame
Type of Frame
Identifier
Data
Id & Data
End of Frame
Missing Ack
Bit Stuffing Error

*CAN*

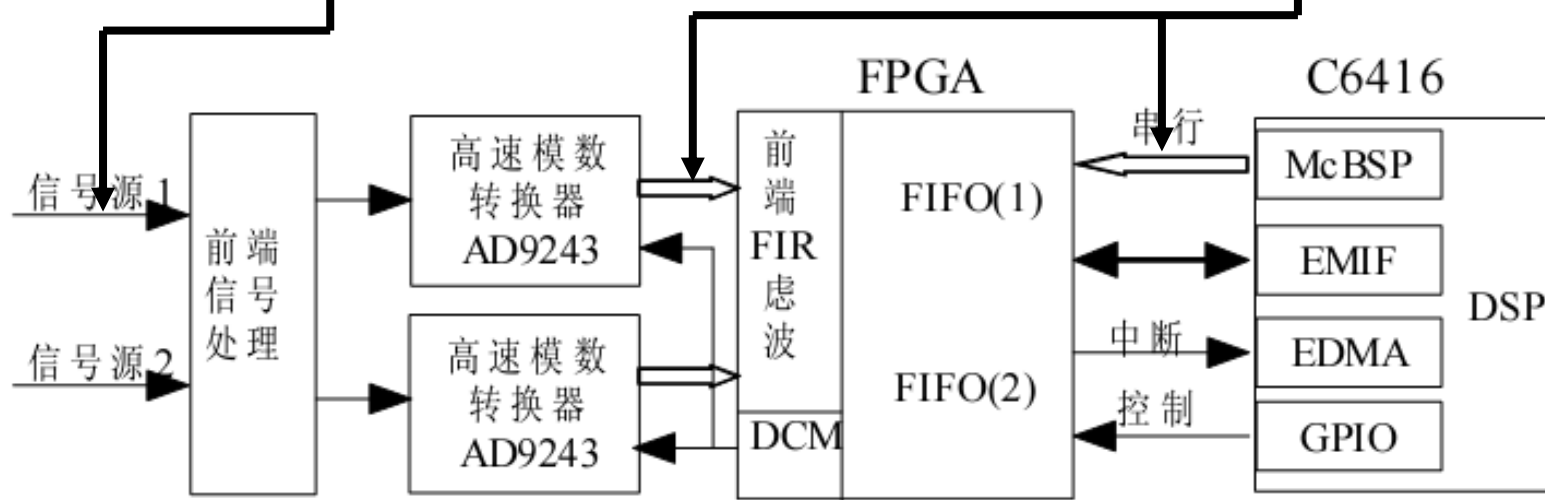
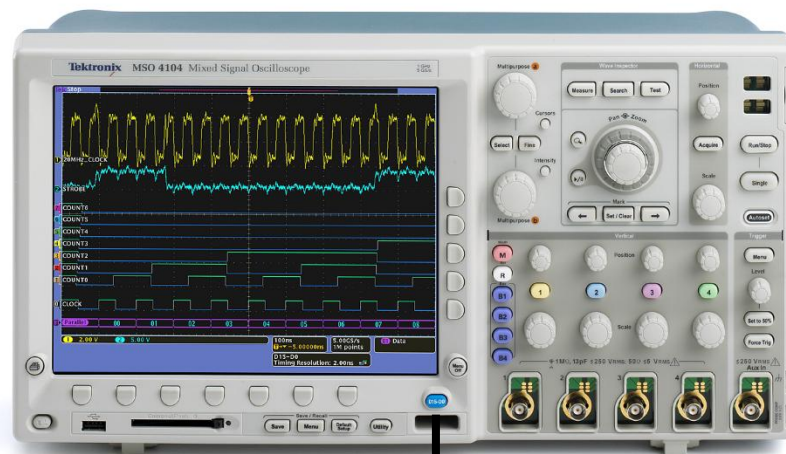
Trigger On a
Sync
Identifier
Data
Id & Data
Wakeup Frame
Sleep Frame
Error

*LIN*

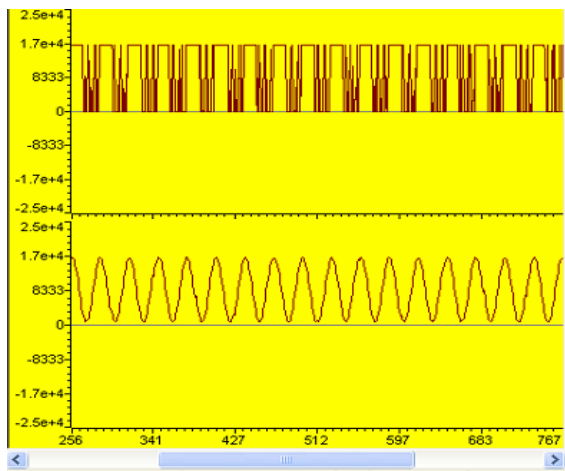
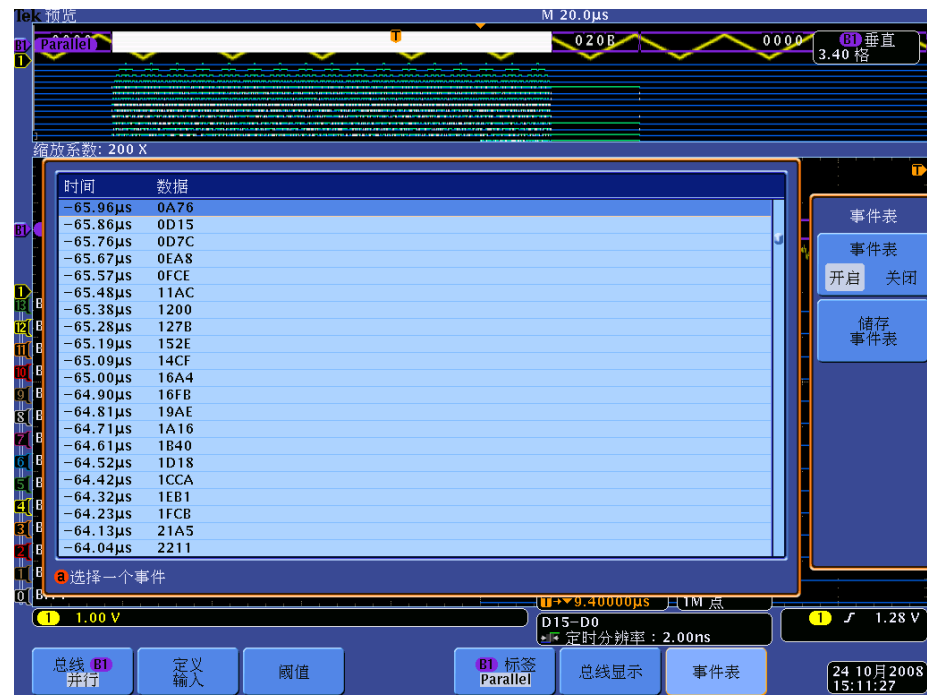
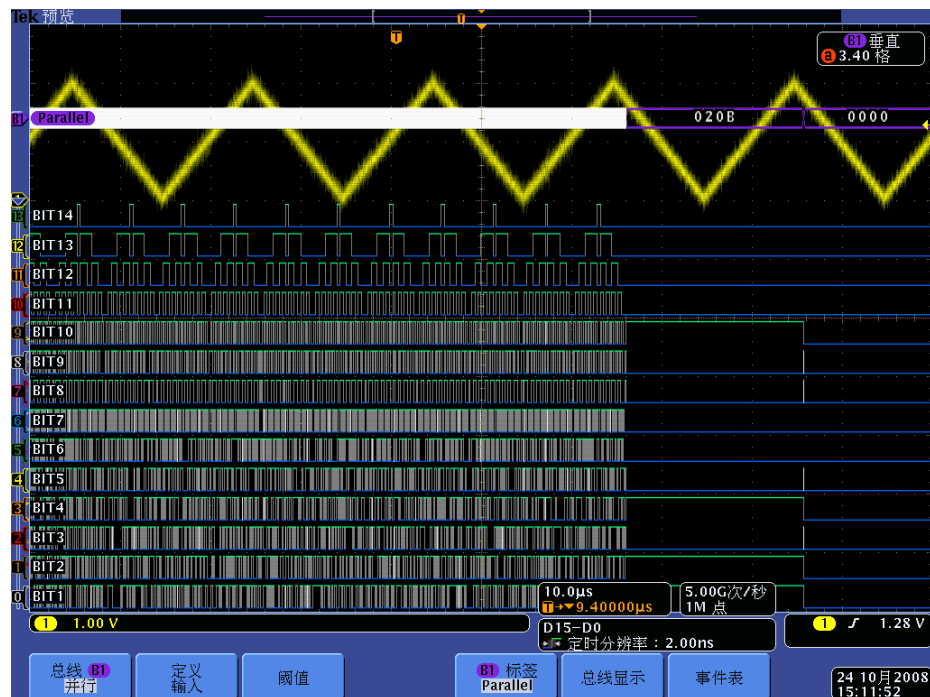
# 总线协议的分析

	Serial Standard	MDO/DPO4000C Series	MSO/DPO5000 Series	DPO7000C Series
Serial Triggering ■ Includes packet level triggering	<i>I<sup>2</sup>C, SPI</i>	DPO4EMBD	SR-EMBD	SR-EMBD
	<i>RS-232/422/485/UART</i>	DPO4COMP	SR-COMP	SR-COMP
	<i>USB 2.0 (LS, FS, HS)</i>	DPO4USB	SR-USB	SR-USB (LS, FS)
	<i>Ethernet (10/100BASE-T)</i>	DPO4ENET	-	-
	<i>CAN/LIN/FlexRay</i>	DPO4AUTOMAX	-	LSA (CAN)
	<i>MIL-STD-1553</i>	DPO4AERO	-	-
	<i>Audio (I<sup>2</sup>S, LJ, RJ, TDM)</i>	DPO4AUDIO	-	-
Serial Decode & Analysis ■ Decoded bus/wfm view ■ Automated Search ■ Tabular data view with time stamps ■ Sync data view with zoom window	<i>I<sup>2</sup>C, SPI</i>	DPO4EMBD	SR-EMBD	SR-EMBD
	<i>RS232/422/485/UART</i>	DPO4COMP	SR-COMP	SR-COMP
	<i>USB 2.0</i>	DPO4USB	SR-USB	SR-USB
	<i>Ethernet (10/100BASE-T)</i>	DPO4ENET	-	-
	<i>CAN/LIN/FlexRay</i>	DPO4AUTOMAX	VNM (CAN/LIN)	LSA (CAN/LIN)
	<i>MIL-STD-1553</i>	DPO4AERO	-	-
	<i>Audio (I<sup>2</sup>S, LJ, RJ, TDM)</i>	DPO4AUDIO	-	-
	<i>MIPI D-PHY</i>	-	-	SR-DPHY
Serial Bus Compliance	<i>USB 2.0</i>	-	USB	USB
	<i>Ethernet (10/100/1000BASE-T)</i>	-	ET3	ET3
	<i>MIPI</i>	-	-	D-PHY
	<i>DDR Memory</i>	-	DDRA	DDRA
	<i>Jitter &amp; Eye Diagram Analysis</i>	-	DJA (DJE incl. std)	DJA (DJE incl. std)

# ADC/DAC的实现验证

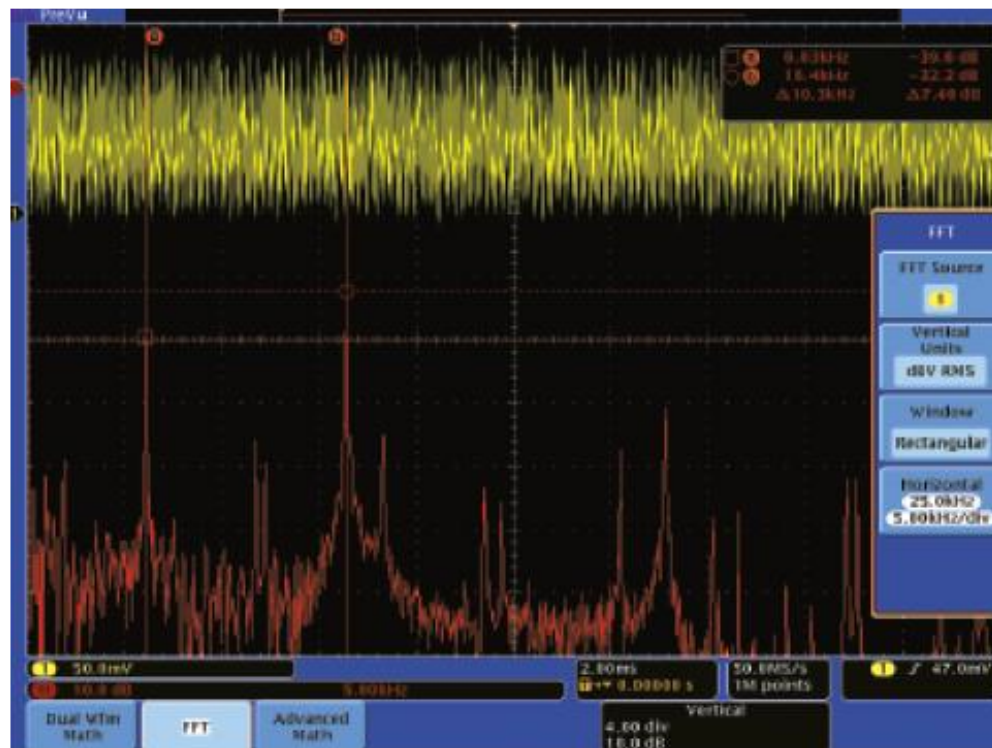


# 将MSO获得的模拟波形和数字波形与CCS比较



# 查找非预计的电路噪声

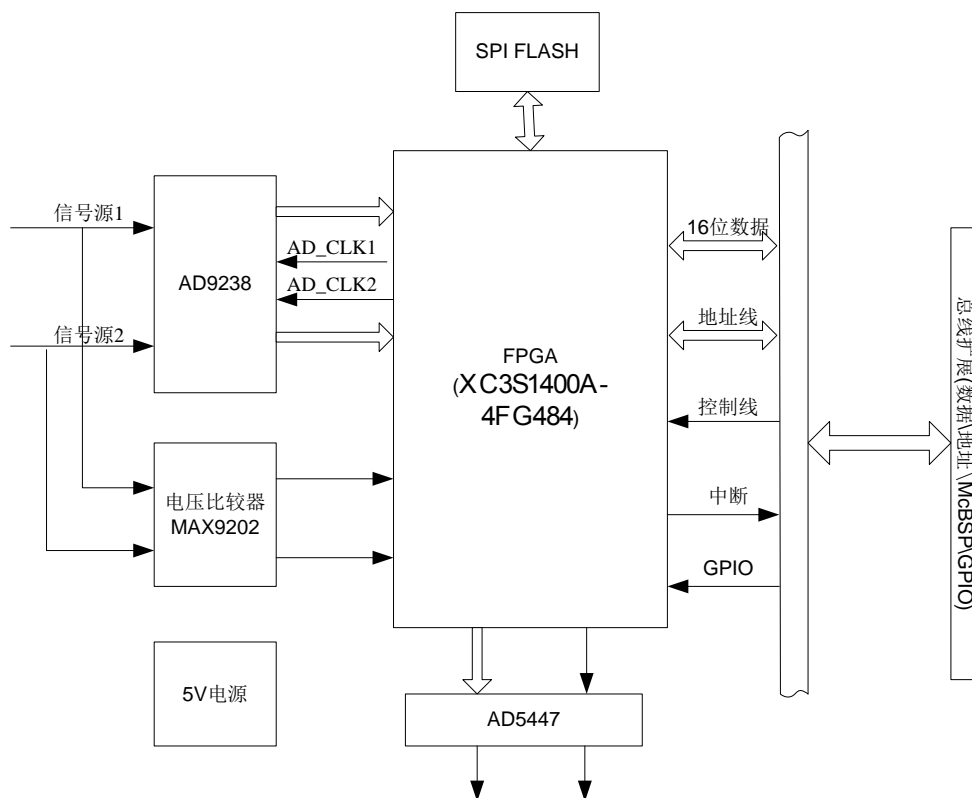
- 工程师和技术人员通常需要在原型中检查非预计的噪声。但是，在时域中可能很难分析噪声信号，如下图所示。MSO/DPO系列快速傅立叶变换(FFT)为识别电路中的噪声来源提供了强大的工具。FFT使得用户可以把信号划分成构成频率，然后示波器可以使用这些构成频率，显示信号的频域图。有了这些信息，开发人员可以把这些频率与已知系统频率关联起来，如系统时钟、频率振荡器、读/写选通、显示信号或开关电源。
- 为在频域中考察噪声信号：
  - 1. 按前面板**Math**按钮。
  - 2. 按**FFT**菜单按钮。
  - 3. 按**Window**菜单按钮，直到选择**Rectangular**窗口，它在宽带噪声信号上提供了最高的频率分辨率。
  - 4. 在需要时，使用多功能旋钮，调节FFT波形的垂直和水平位置和标度。
  - 5. 在本例中，FFT中两个最高的峰值表明在6 kHz和16 kHz时有明显的噪声源。在本例中，这些是耦合到信号中的系统时钟



# AD模板硬件调试

## ■ 调试程序遇到的问题：

- AM调幅信号输入，经AD采集的后数据在FPGA进行数据处理后，经DA输出。想看DA输出的频域，来分析输出的信号。
- 因需要实时观察输出信号的频域，则直接通过示波器直接进行FFT来分析更方便

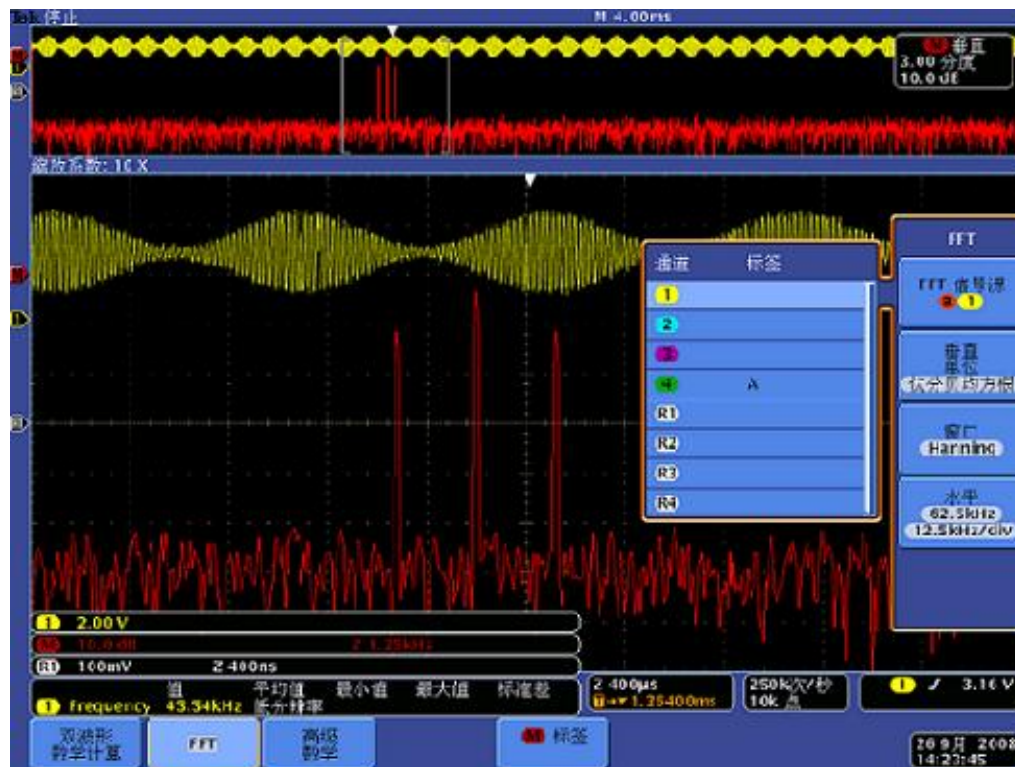
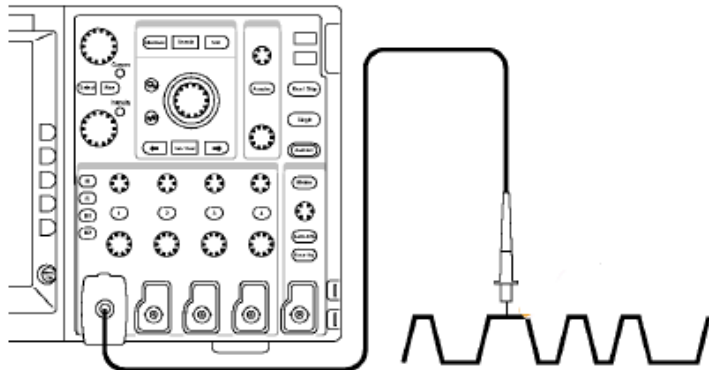




# AD模板硬件FFT调试

## ■ 调试FFT过程

- 本板卡将AD采集的数据，在FPGA内实现FFT后得到频谱数据
- 首先将AM调幅信号通过示波器来分析。将探头连接到输入的AM调幅信号上





# 感谢您关注泰克

- 了解更多信息可登陆:

<http://info.tek.com/cn-mdo-portfolio-em.html>

- 可拨打全国免费电话:

400-820-5838

- 也可登录泰克官网:

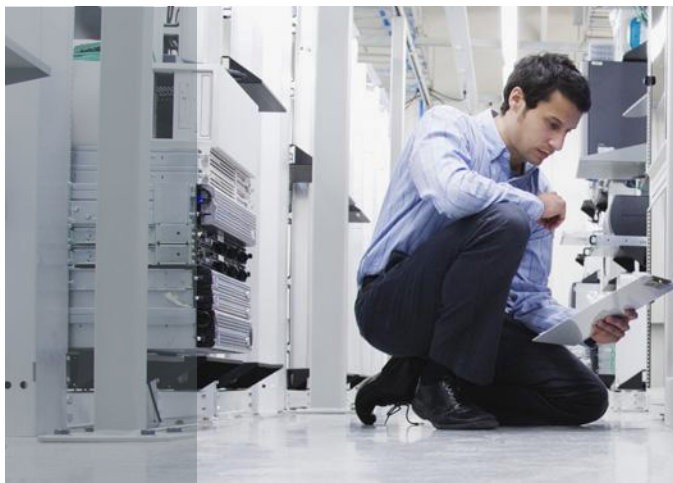
<http://cn.tek.com/>

- 欢迎关注泰克微信公众平台:

微信公众号: Tektronixchina



# 谢谢!



***MDO系列示波器简化了调试工作，在性能、易用性和性价比方面确立了新的标准***

**Tektronix®**