

# 应对电源完整性测试的挑战



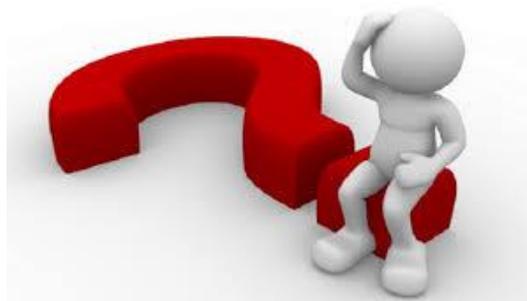
刘永刚

罗德与施瓦茨公司示波器业务发展工程师

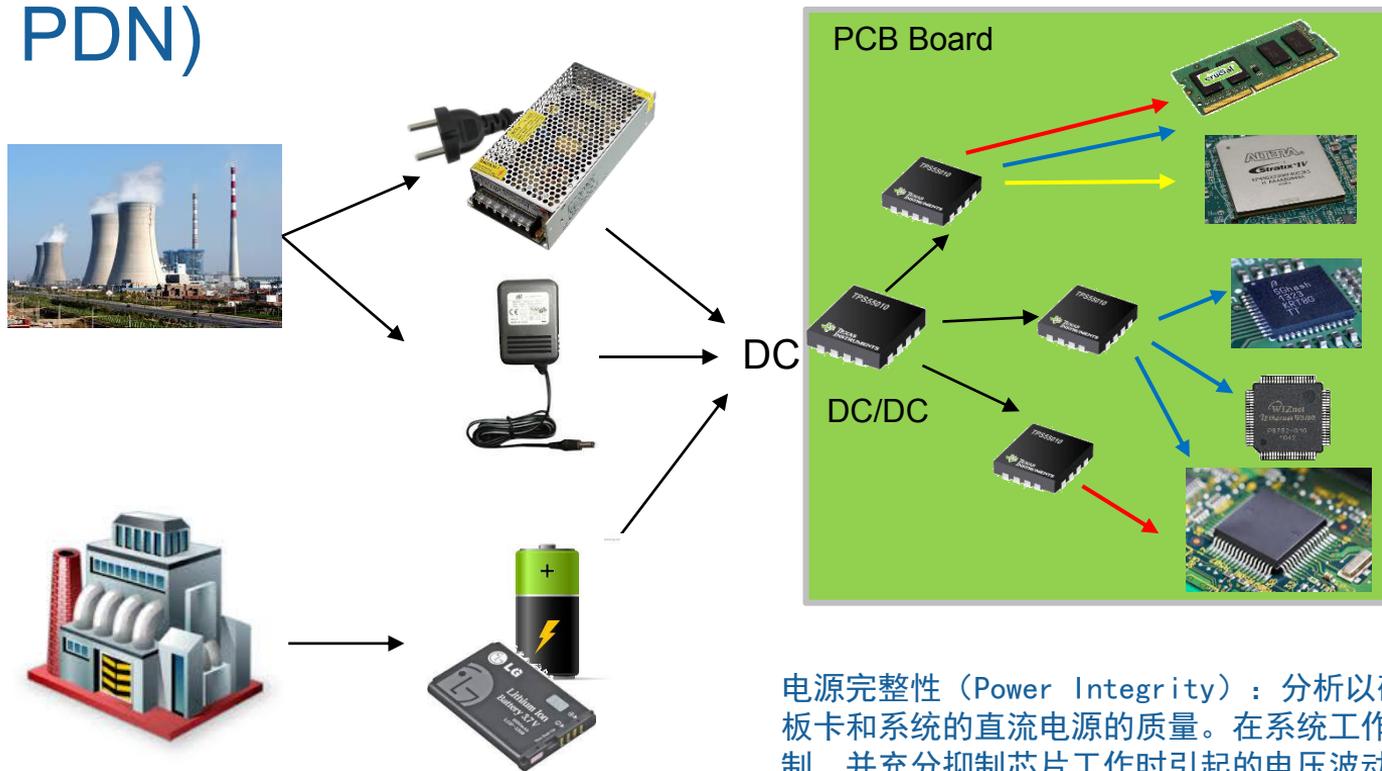
Yonggang.Liu@rohde-schwarz.com

# 内容安排

- 电源完整性及其重要性  
从SI → SIPI → SIPI / EMC&EMI
- 电源完整性测试及面临的挑战
- R&S电源完整性测试和EMI诊断方案



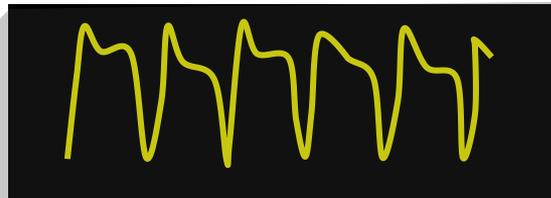
# 电源分布网络 (Power Distribution Network, 简称 PDN)



典型的电源路径数量：  
SSD: 12+  
RTO2K: 20+  
Tablet: 24+  
Network switch: ~56  
Next gen mobile: ~100

电源完整性 (Power Integrity)：分析以确定从DC转换器的输出到芯片，板卡和系统的直流电源的质量。在系统工作时，电源噪声能够得到有效控制，并充分抑制芯片工作时引起的电压波动、辐射和串扰。为整个系统提供一个稳定可靠的电源分布网络

# 真实的直流电压信号

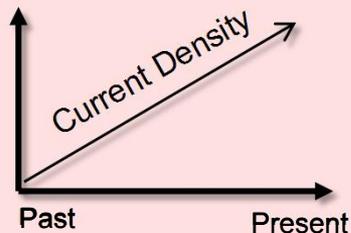
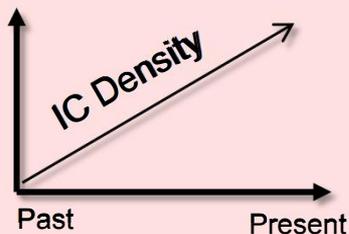


# 电源完整性为什么越来越重要

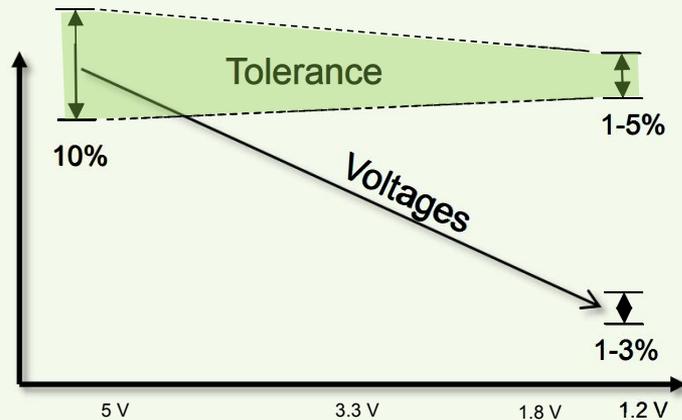


目的: 尽可能的减少产  
品功耗

不断增加的电流



要求更小的电源电压



# 不同电路器件对供电电源的要求

	Digital Load				Analog Load			Mixed Load			
器件类型	低端FPGA	高端FPGA	DSP	存储器件	运放	混频器	RF功放	ADC	DAC	PLL/VCO/CLK	Tx/Rx
电源精度要求	5%	5%	5%	1-2%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	2%
负载瞬态响应	5%	5%	3%	2%	取决于负载	无严格要求	取决于工作模式	无严格要求	无严格要求	无严格要求	取决于工作模式
噪声敏感度	低	中	低	中	高 >10KHz	高 DC-GHz	极高 DC-GHz	高 >100KHz	高 >100KHz	高 DC-GHz	高 DC-GHz
噪声/纹波量级	100mV左右	20-50mV	50mV左右	20-50mV	100uV	100uV	10uV	100uV-1mV 取决于分辨率	100uV-1mV 取决于分辨率	10uV-100uV 取决于性能等级	10uV-100uV 取决于性能等级
典型供电方案	Switcher	Switcher	Switcher	Switcher	Switcher+LDO or Filter Switcher	Switcher+LDO or Filter Switcher	Low noise high speed LDO	Switcher+LDO or Filter Switcher	Switcher+LDO or Filter Switcher	ultra-low noise LDO	Filter Switcher+L ow noise LDO+high BW LDO

噪声敏感等级

低

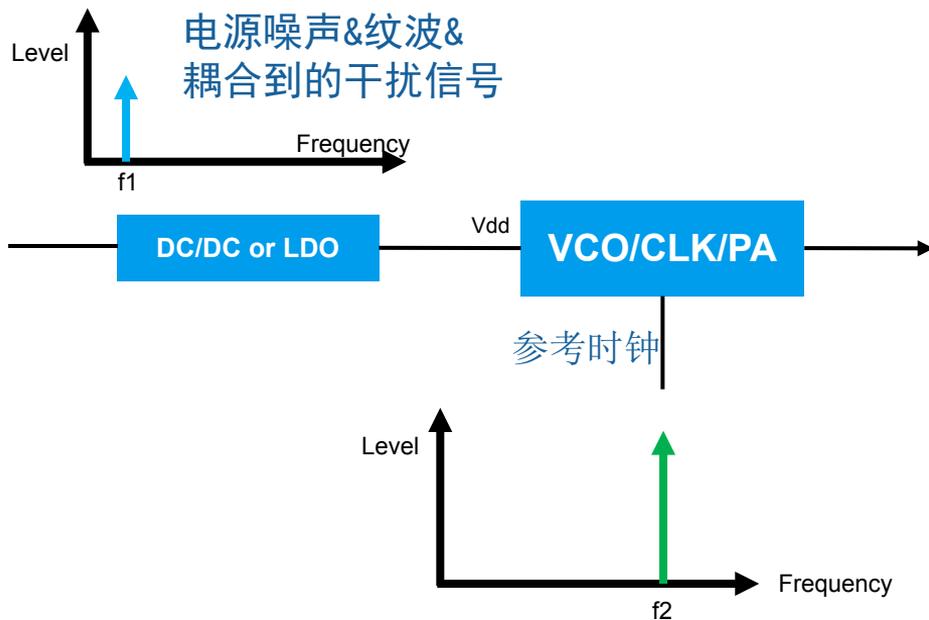
中

高

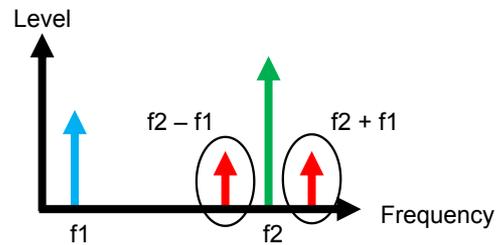
极高

# 电源完整性问题的影响

## ——影响RF系统相噪

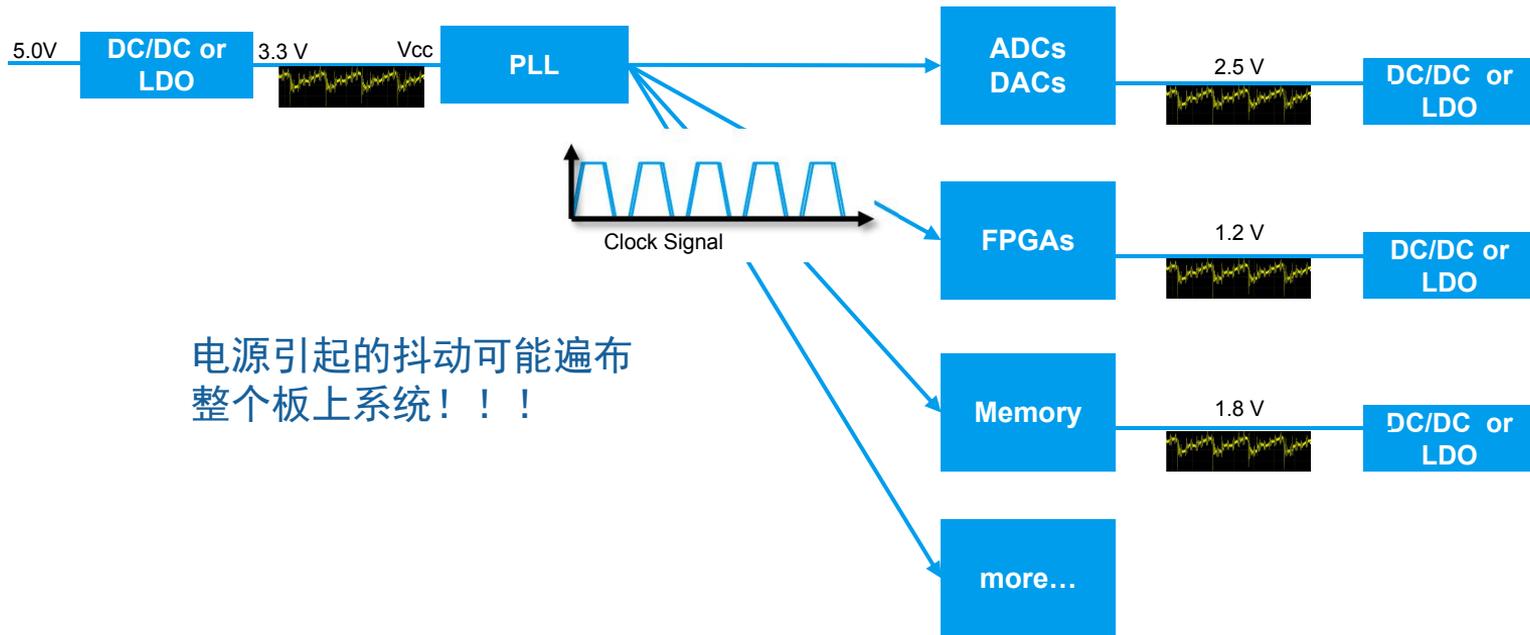


时钟信号受到干扰



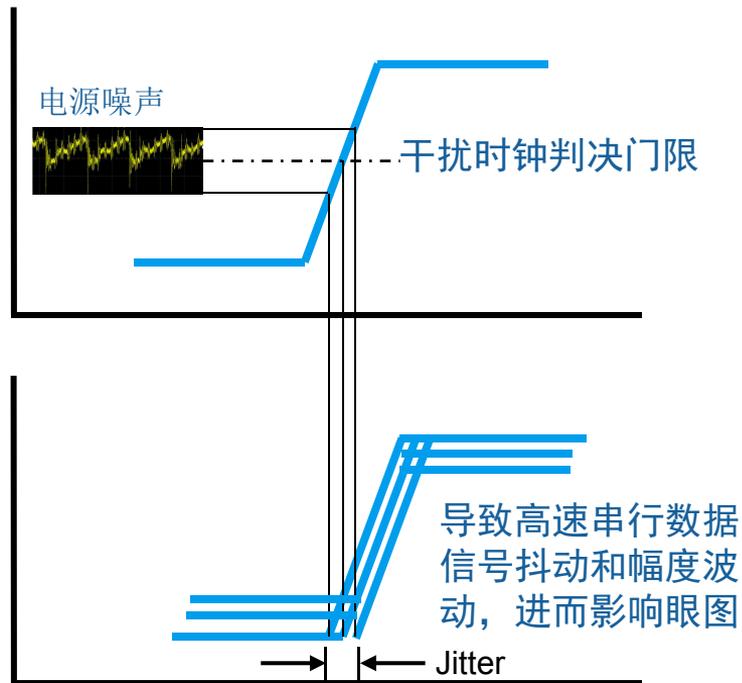
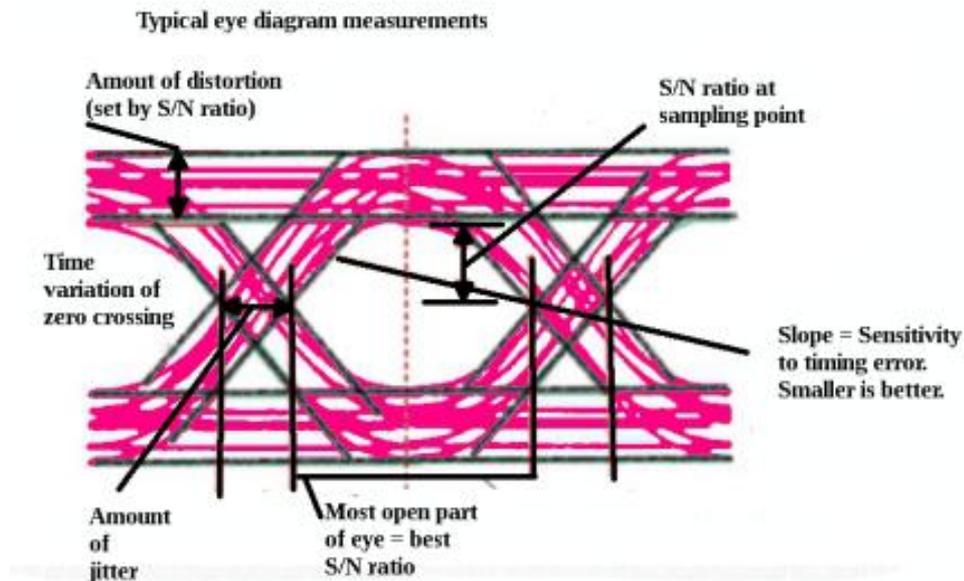
# 电源完整性问题的影响

## ——影响数据链路的抖动



# 电源完整性问题的影响

## ——影响高速串行信号的眼图



# 电源完整性问题带来的系统性能影响总结

- 集成电路IC不能正常工作
  - FPGAs, ASICs, ADCs, DACs, MCUs, DDR memory
  - IC厂商规定输入电源指标及容限
- 高速数据链路误码率的增加（抖动及幅度波动）
- 高位ADC和DAC电路性能下降（位数牺牲）
- EMI干扰引起的性能下降(如显示、时钟及射频性能)

# 电源完整性测试及挑战

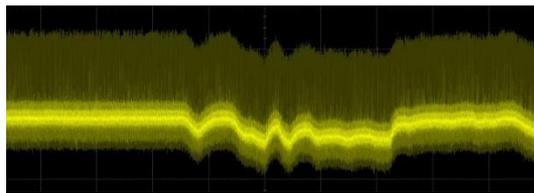
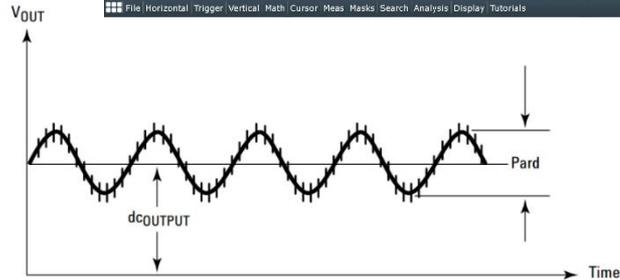
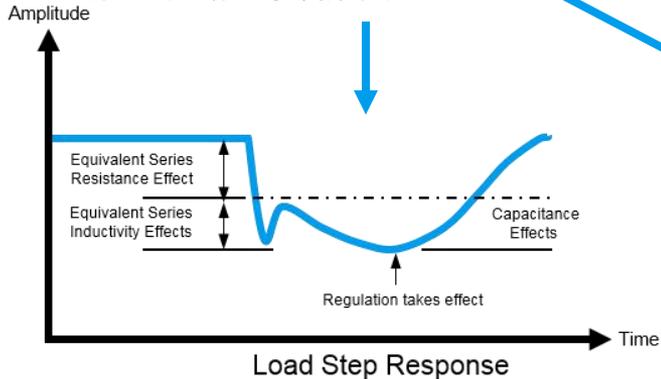
- 电源完整性的测试内容
- 电源完整性测试与传统电源测试的区别
- 电源完整性测试挑战
  - mV级信号测试
  - 测试带宽
  - 偏置补偿
  - Tolerance Worst Case/PARD测试
  - EMI诊断分析



# 电源完整性的测试内容

## ---时域

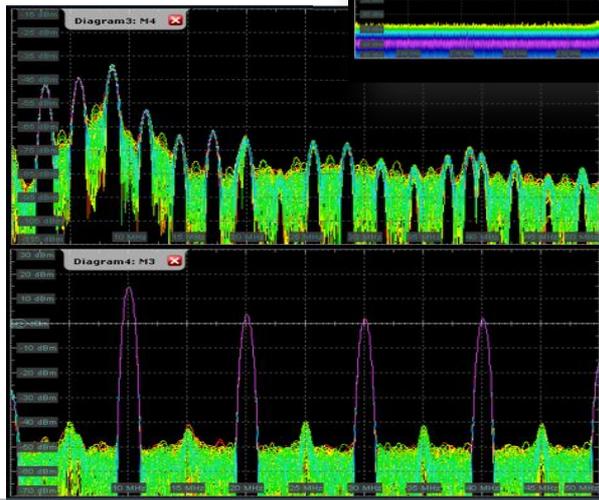
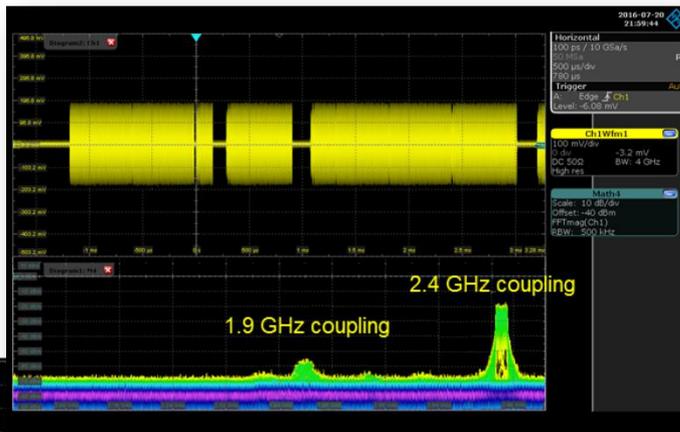
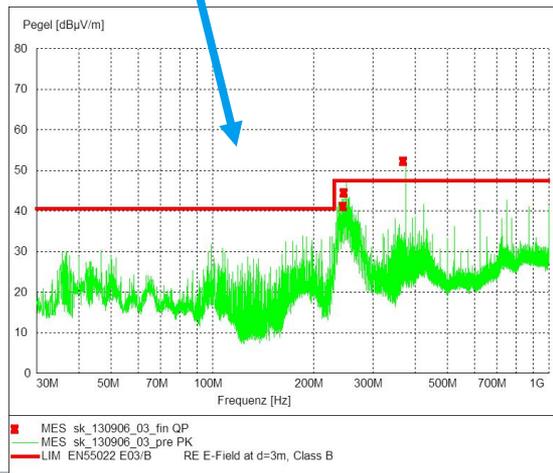
- I Tolerance容限分析（最坏情况分析）
- I PARD（周期和随机扰动 - 噪声，纹波和瞬态响应）
- I 电源低频漂移
- I 静态和动态负载响应



# 电源完整性的测试内容

## ---频域

- I 射频模块/组件引起的干扰  
(例如: WiFi模块)
- I 高速数字线路串入的干扰  
(例如: 10MHz晶振PCB走线)
- I EMI



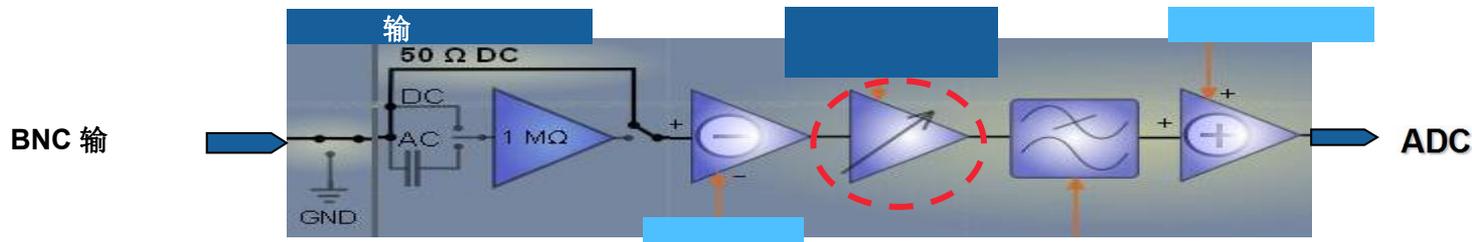
# 与传统SMPS电源输出特性测试的主要区别

项目	传统SMPS电源输出特性测试	电源完整性测试
测试带宽	20MHz	高达GHz
PARD范围	几十至上百毫伏	低至mV
Worst Case敏感度	中	高
高频EMI诊断要求	中	高



# 电源完整性测试的主要挑战

- 测试带宽的提升对示波器输入灵敏度的要求

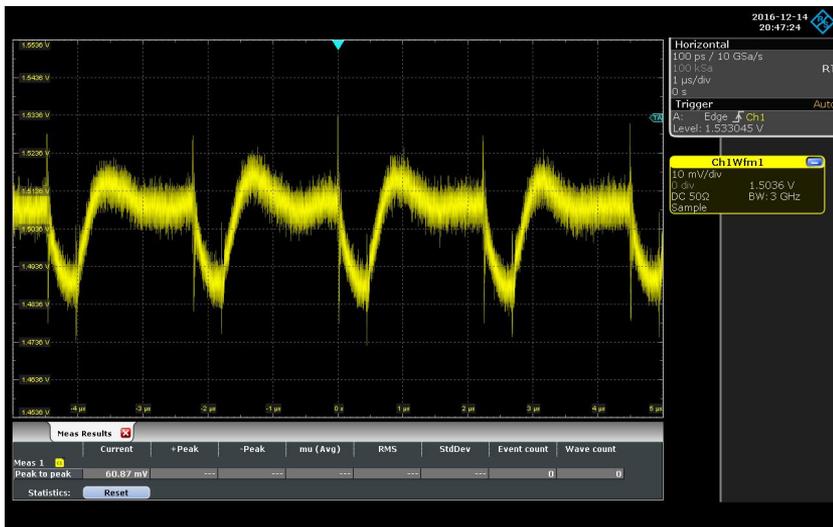


输 围	X10 头 围	R&S RTO	
		50 $\Omega$	1M $\Omega$
$\geq 10$ mV/div	$\geq 100$ mV/div	Full BW	500MHz
5 mV/div ... 9.9 mV/div	50 mV/div ... 99.9 mV/div	Full BW	500MHz
2 mV/div ... 4.99 mV/div	20 mV/div ... 49.8 mV/div	Full BW	500MHz
1 mV/div ... 1.99 mV/div	10 mV/div ... 19.9 mV/div	Full BW	500MHz

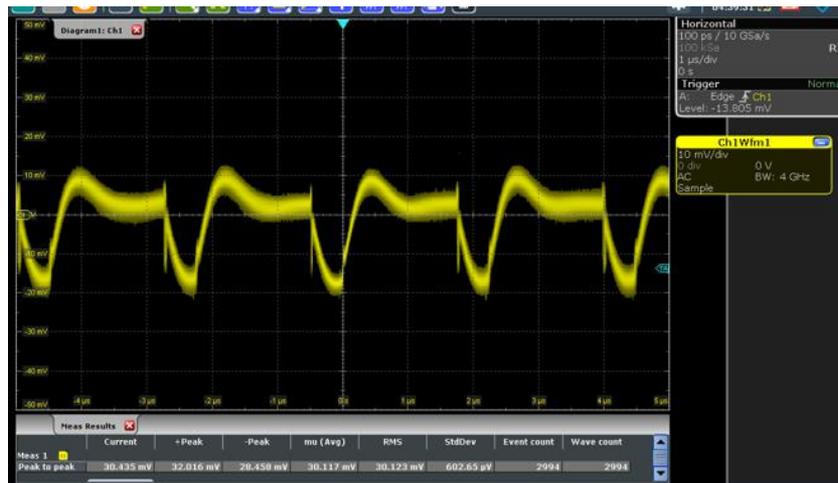
Industry offer			
50 $\Omega$	1M $\Omega$	50 $\Omega$	1M $\Omega$
Full BW	500MHz	Full BW	500MHz
2 GHz	500MHz	Via Magnification	
500 MHz	350MHz		
200 MHz	175MHz		

# 电源完整性测试的主要挑战

## I mV级宽带信号测试对高频1:1探头的要求



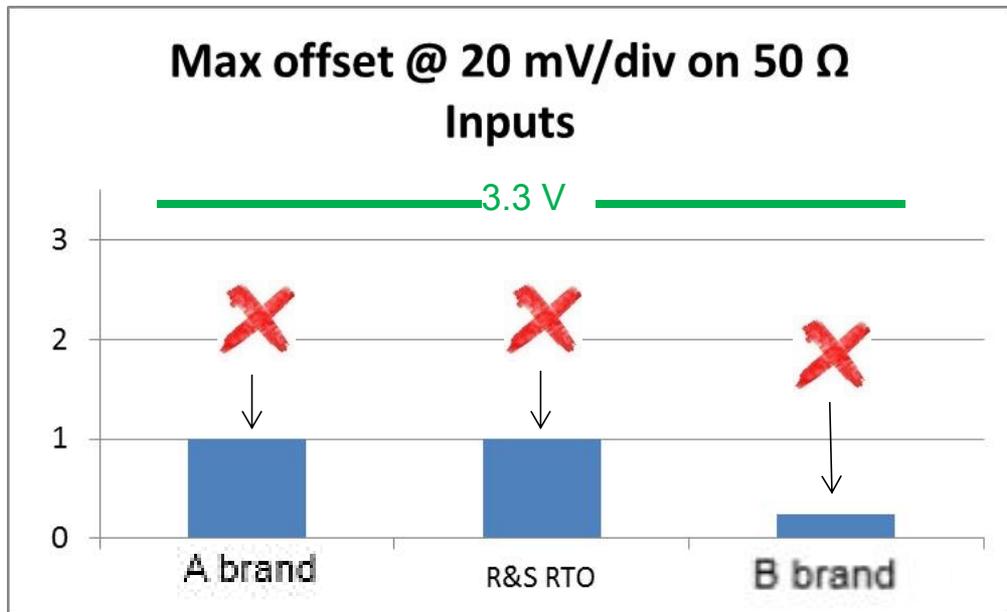
传统10:1探头，引入噪声干扰



传统1:1探头，无法测试高频信号  
(即便设置到相同输入灵敏度)

# 电源完整性测试的主要挑战

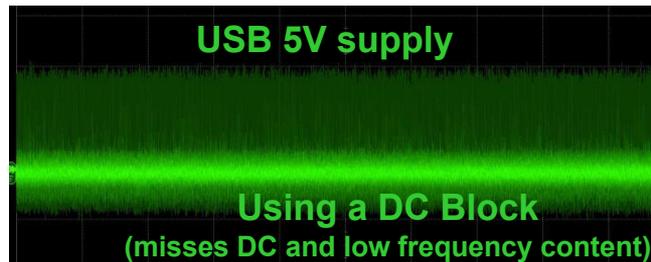
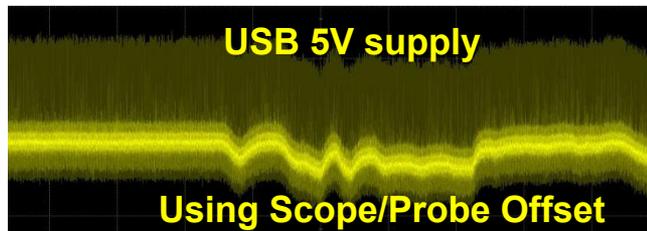
## ■ 偏置补偿能力的挑战



示波器自身的偏置补偿能力无法满足测试要求

# 电源完整性测试的主要挑战

## ■ 偏置补偿能力的挑战——DC Block的局限性



- 电容值选取对带宽和频响的影响
- DC Block将电源上的低频漂移一起阻隔，无法测试。

# 电源完整性测试的主要挑战

## ■ 触发灵敏度对电源完整性测试的影响

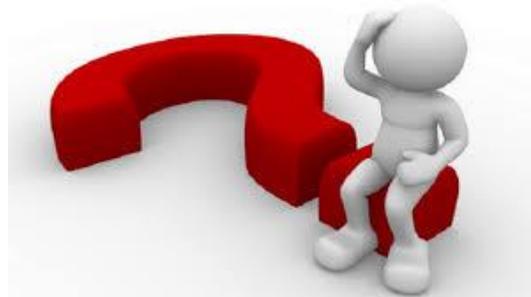
传统数字示波器触发灵敏度较低，无法对小信号有效触发，示波器仅能工作在**Auto**模式，进行每秒**20**次左右的波形捕获。

### Pinpoint<sup>®</sup> trigger system

#### Trigger sensitivity

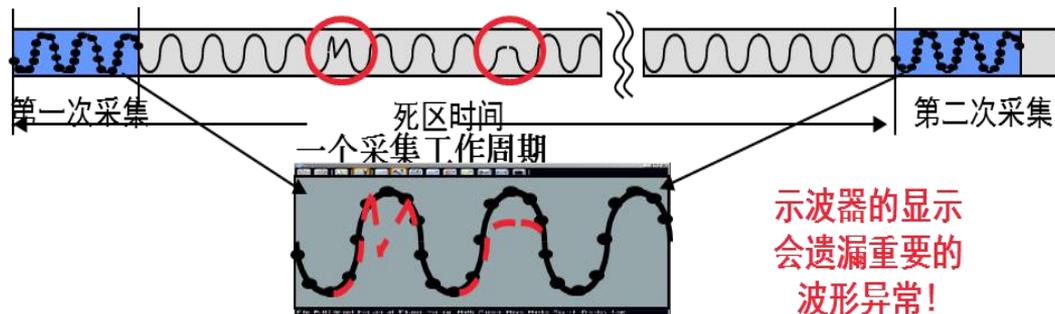
Internal DC coupled	0.7 div from DC to 50 MHz, increasing to 1.2 div at rated analog bandwidth (typical), up to 2.5 GHz. 2.5 div at 3.5 GHz
Aux input (external trigger) 1 M $\Omega$	250 mV from DC to 50 MHz, increasing to 350 mV at 250 MHz (typical)

**在对小信号测试时  
检查一下您的示波器是否工作在触发状  
态!!!**



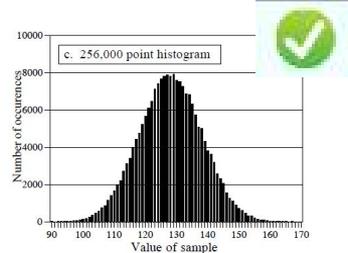
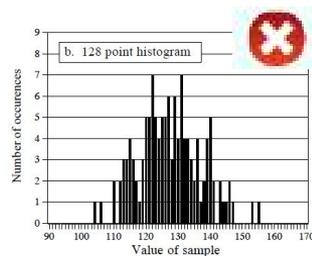
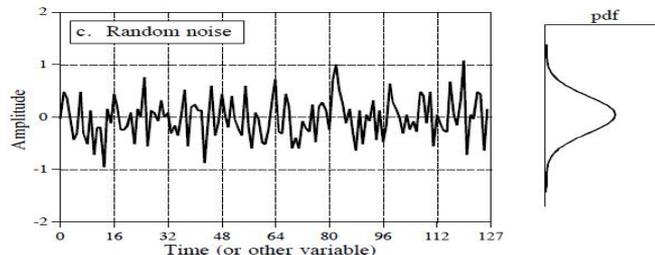
# 电源完整性测试的主要挑战

- 触发灵敏度所导致的低测试波形捕获率对**Worst Case**和**PARD**测试的影响
  - 传统数字示波器在小信号状态下无法触发，仅能工作在**Auto**模式
  - 在**Auto Mode**下无触发时，示波器只能实现**20次/秒**左右的波形采集



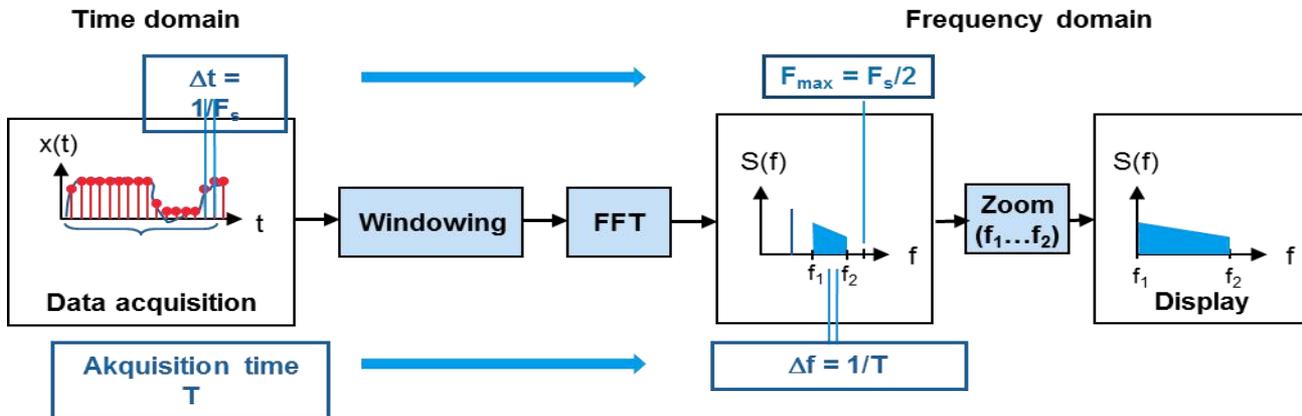
示波器的显示  
会遗漏重要的  
波形异常!

- 这种情况下测得的Pk-Pk和RMS值误差较大
- 高可测试波形捕获率才能测得更真实的结果



# 电源完整性测试的主要挑战

## I 传统示波器FFT分析对EMI诊断的影响



- 采集一次花费较长时间分析，然后在进行采样，进一步降低了波形捕获率，无法满足瞬时频谱分析需要；
- 时域设置决定了频率分析范围，无法灵活更改频域分析参数；
- 频域放大不能展示更多细节；
- 不可能进行频域触发和时频相关分析

# R&S电源完整性测试及EMI诊断方案

## I R&S RTO/RTE高性能示波器

- 全带宽1mV/div输入灵敏度
- 创新16Bit HD触发和采集系统
- 基于DDC的准实时频谱分析能力
- 频域模板触发及自动Peak List显示



## I R&S RT-ZPR20专用电源测试探头

- 2GHz 1:1衰减比
- 业内最大 $\pm 60V$ 偏置补偿能力
- $\pm 850mV$ 测试动态范围
- 完备的探接前端



## I R&S HZ15板级诊断近场探头

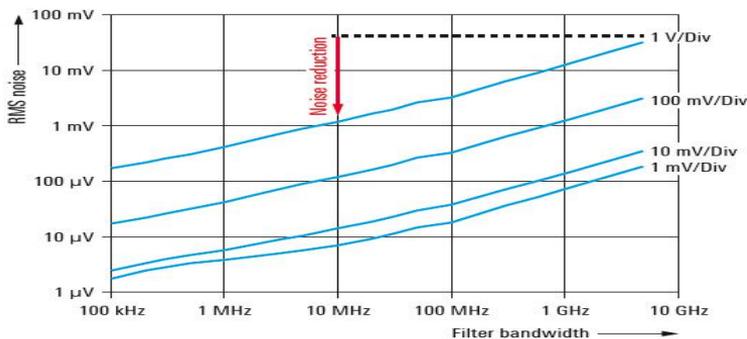
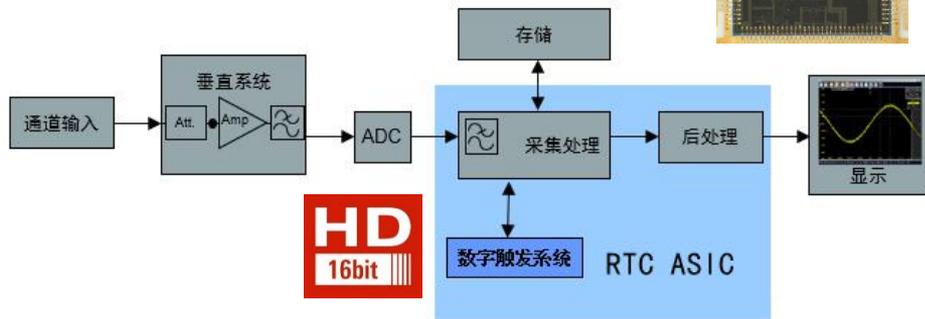
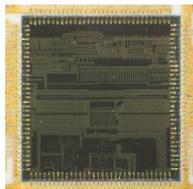
# R&S示波器全带宽1mV/div高输入灵敏度

- RTO系列示波器可实现高达6GHz 1mV/div输入灵敏度（真正硬件档位）
- RTE系列示波器可实现高达2GHz 500uV/div输入灵敏度（真正硬件档位）

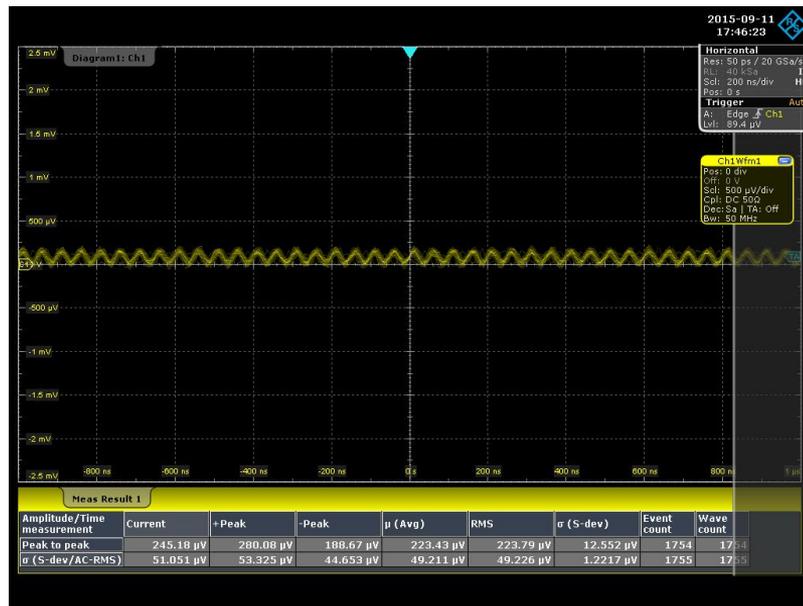
垂直输入灵敏度范围	使用X10探头灵敏度范围	R&S RTO2064		Industry offer			
		50 Ω	1M Ω	50 Ω	1M Ω	50 Ω	1M Ω
$\geq 10$ mV/div	$\geq 100$ mV/div	Full BW	500MHz	Full BW	500MHz	Full BW	500MHz
5 mV/div ... 9.9 mV/div	50 mV/div ... 99.9 mV/div	Full BW	500MHz	2 GHz	500MHz	Via Magnification	
2 mV/div ... 4.99 mV/div	20 mV/div ... 49.8 mV/div	Full BW	500MHz	500 MHz	350MHz		
1 mV/div ... 1.99 mV/div	10 mV/div ... 19.9 mV/div	Full BW	500MHz	200 MHz	175MHz		

# R&S示波器创新的触发和采集系统

- 单核ADC实现极低的系统底噪
- 数字触发系统实现超高触发灵敏度



- 业内独具可对uV级信号进行直接触发和测量



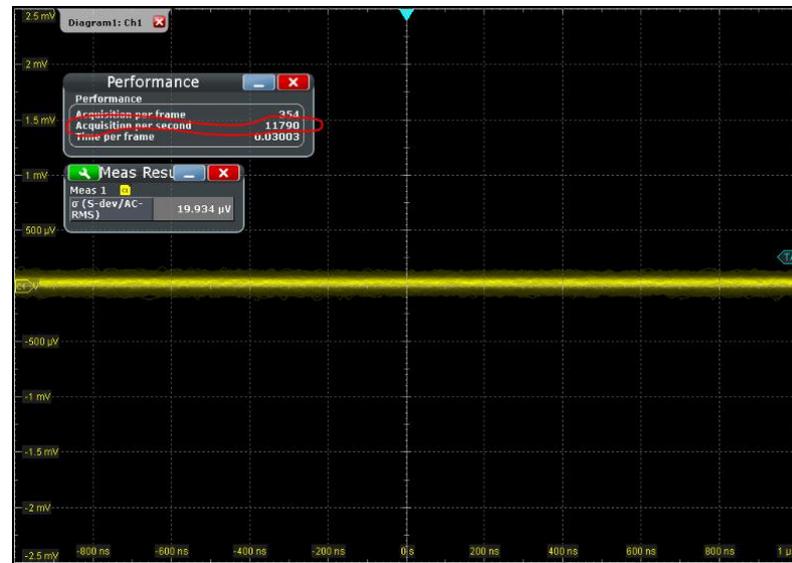
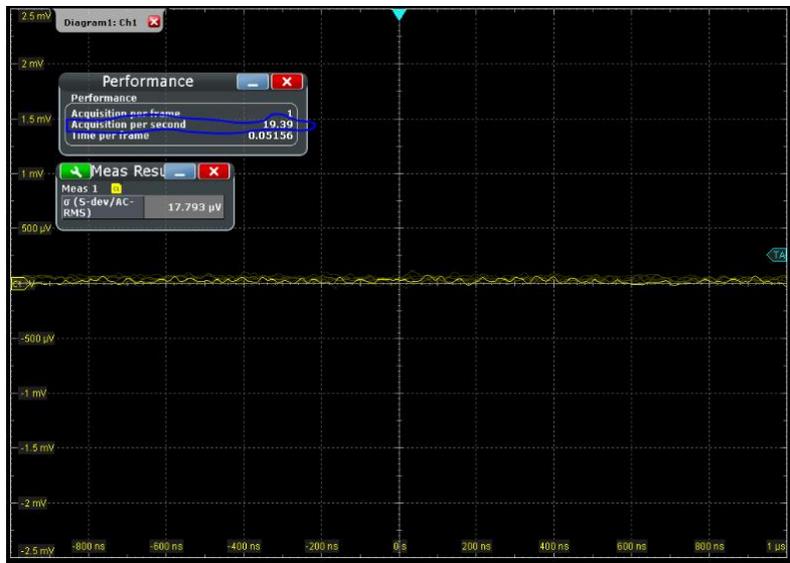
50uV信号触发测试实例

# R&S示波器超高触发灵敏度实现每秒高达百万次捕获

## 独创Free Run模式提高极低噪声测试波形捕获率

无触发Auto模式 (~20 wfm/s)

Free Run模式 (>10000 wfm/s)



AC RMS:17.793 $\mu$ V,  
limit by number of sample

AC RMS:19.934 $\mu$ V,  
More accurate

# R&S示波器基于硬件DDC的准实时频谱分析能力

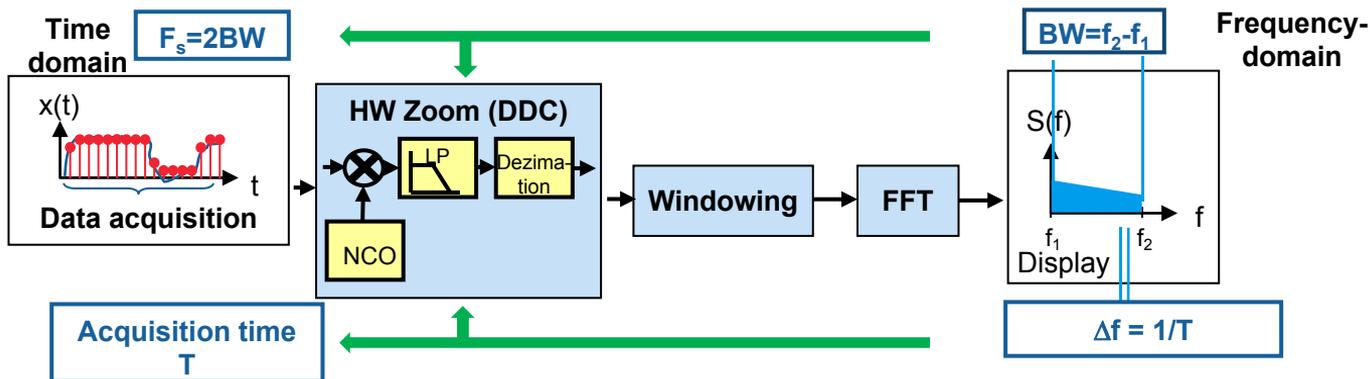


## ■ 频谱分析仪工作方式

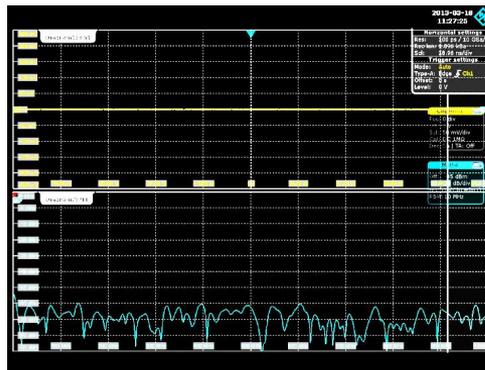
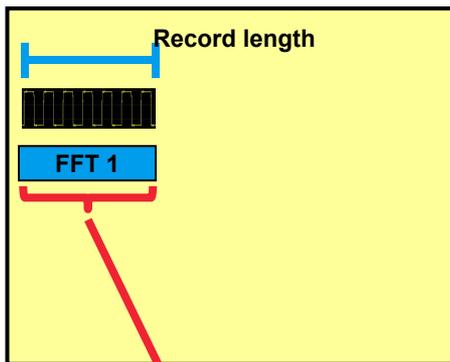
- 频域设置决定时域设置

## ■ 内置硬件数字下变频器(DDC)获得增强的频域分辨率

- 选频和谱细化在FFT处理前完成



# R&S示波器分段和Overlap FFT提高瞬态谱分析能力



Record length  
=  
FFT Length  
↓  
1 FFT

Math

Setup FFT Setup FFT Magnitude/Phase FFT Gating

1 Math 1 Enable math signal

2 Math 2 Center frequency 625 MHz

3 Math 3 Frequency span 1.25 GHz Full Span

4 Math 4 Start frequency 0 Hz Stop frequency 1.25 GHz

RBW/window setup

Span/RBW coupling

Span/RBW ratio 100

Resolution BW 12.5 MHz

Window type Blackman Harris

Frame setup

Frame arithmetic Off

Overlap factor 50 %

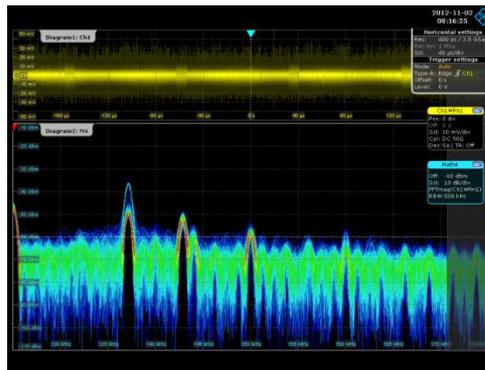
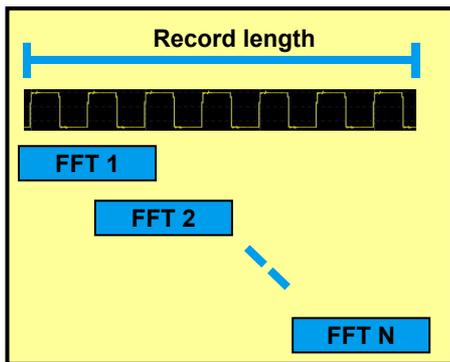
Max frame count 1000

Maximum frame count reached!

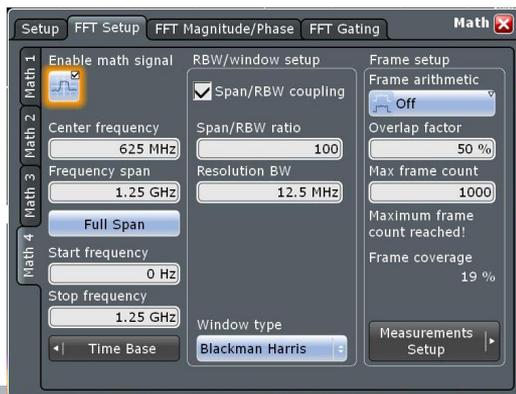
Frame coverage 19 %

Measurements Setup

# R&S示波器分段和Overlap FFT提高瞬态谱分析能力



Record length  
>>  
FFT Length  
↓  
~440 FFTs

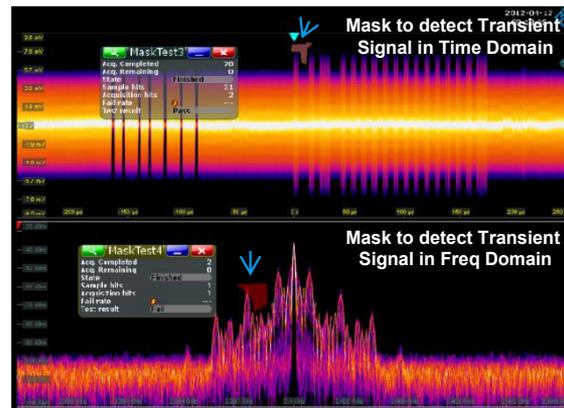
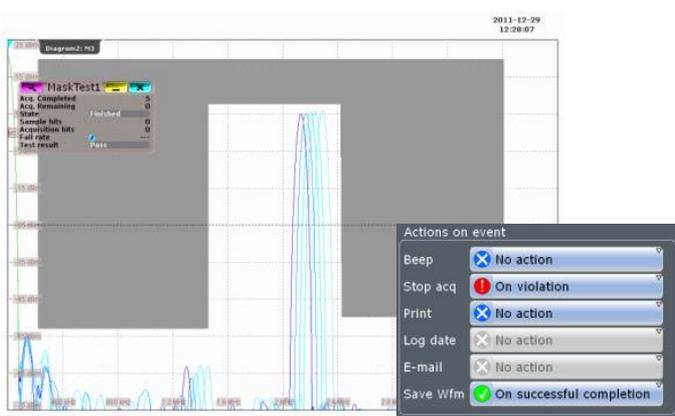


- 通过重叠FFT功能信号频谱出现的频度信息可见（色温）
- 对短时辐射具有高灵敏度
- 在一定程度上，消除时域设置和频域设置的互锁

# R&S示波器频域模板触发快速捕获敏感频段干扰



实现时域、频域和协议层触发和多域联合调试  
(业内唯一同时支持在时域和频域多达八个区域触发设置)



Mask violation → Stop Acquisition

User can also make use of mask testing to “capture” spectral violation and correlate with Time.

# R&S示波器高级频域分析

## Spectrogram三维频谱显示

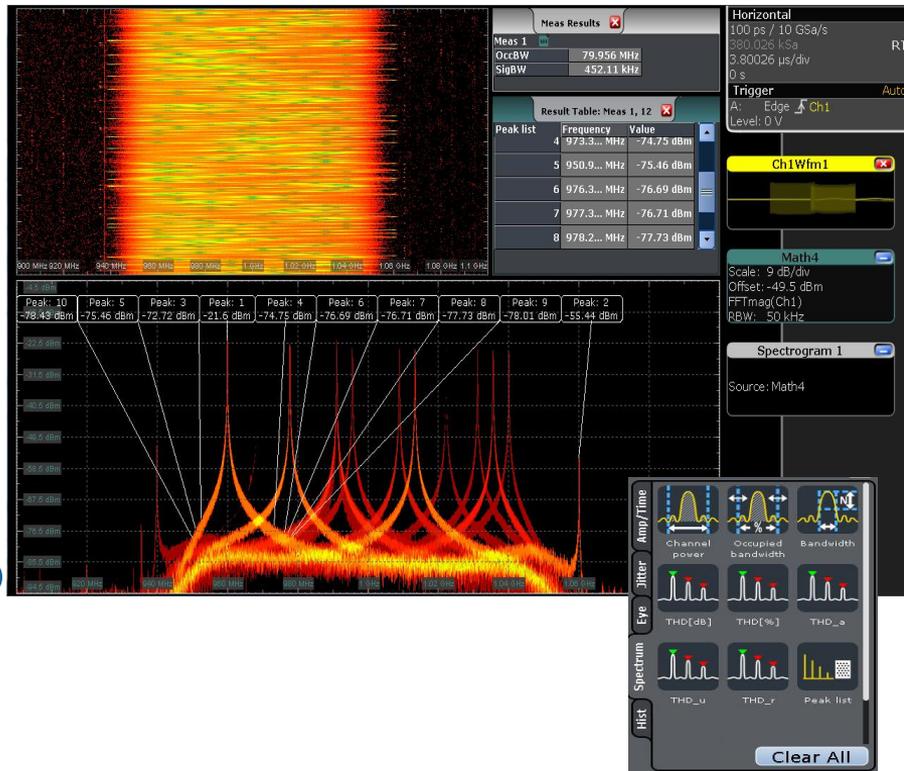
- 频域特征随时间的改变一目了然
  - Power vs. time
  - Frequency vs. time

## Peak List峰值列表显示功能

- 自动频域峰值搜索和标记
  - Automatic labeling
  - Threshold level for peak detection

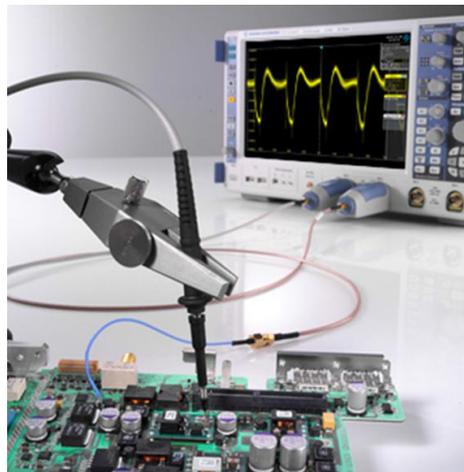
对数-对数坐标 (Log-Log scaling)

频域参数自动测量



# R&S RT-ZPR20电源完整性测试专用探头

- **>2GHz模拟带宽 (典型值2.4GHz)**  
满足用户对高频纹波噪声和频谱测试需求  
一次连接，完成时域和频域测试
- **1:1衰减比**  
最小化系统底噪对测试的影响
- **业内最高 $\pm 60V$ 偏置补偿范围**  
覆盖所有板上和通信电源测试需求
- **$\pm 850mV$ 测试动态范围**  
满足不同电源PARD测试需要
- **内置独立16bit电压计**  
一次连接，同时实现高精度DC分量测试



# R&S RT-ZPR20电源完整性测试专用探头

- 丰富的探接前端附件  
满足各种测试探接需求



Direct connect to SMA



50  $\Omega$  SMA coaxial solder-in



标配Browser前端

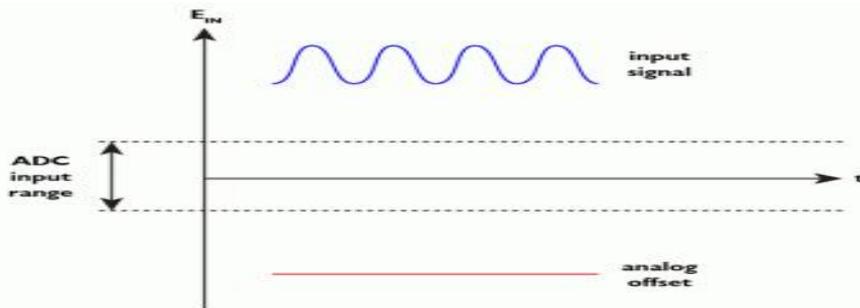
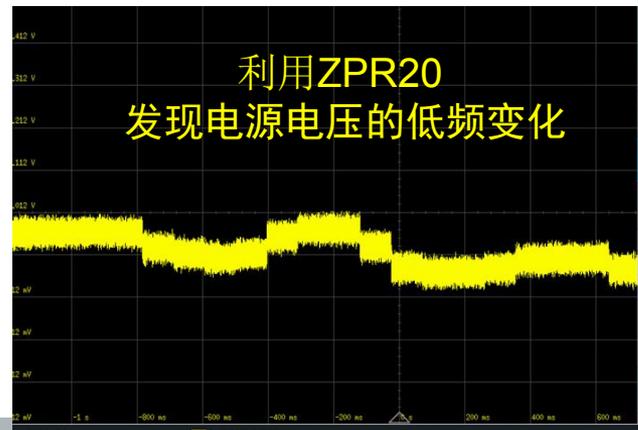
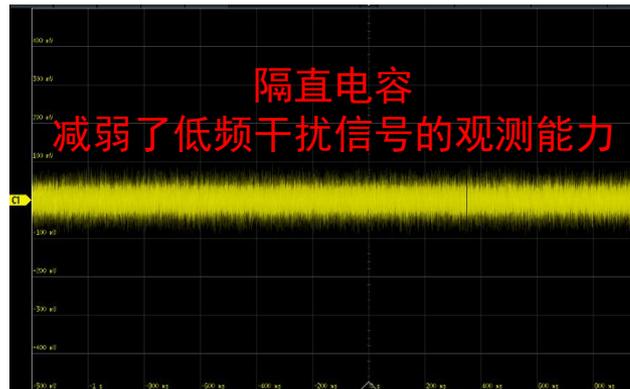
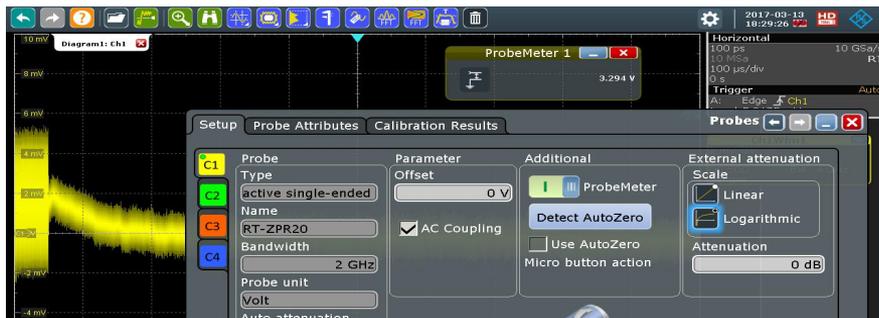


点触式连接



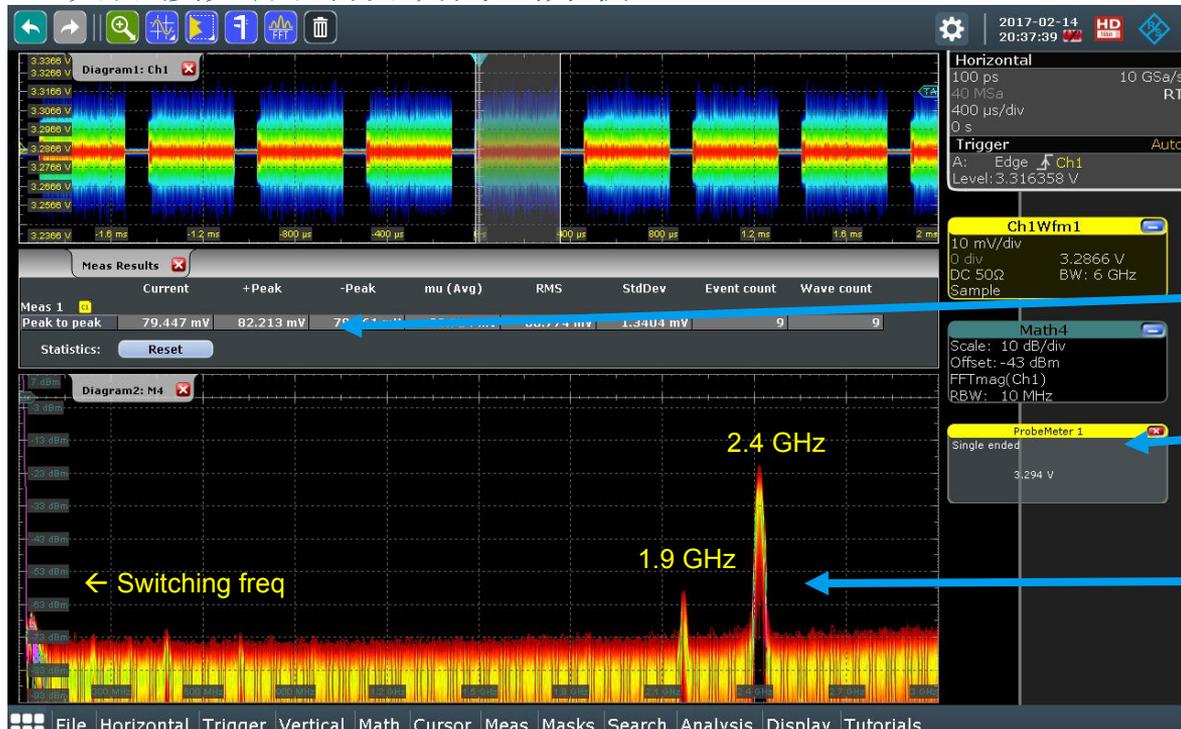
# R&S RT-ZPR20电源完整性测试专用探头

- ±60V直流偏置补偿同时支持DC、AC耦合  
完美兼顾宽压高灵敏度测试和低频漂移测试  
满足各种测试需求



# R&S RTO/RTE + RT-ZPR20 Power Rail Probe

## 一次探接完成时频域测试分析



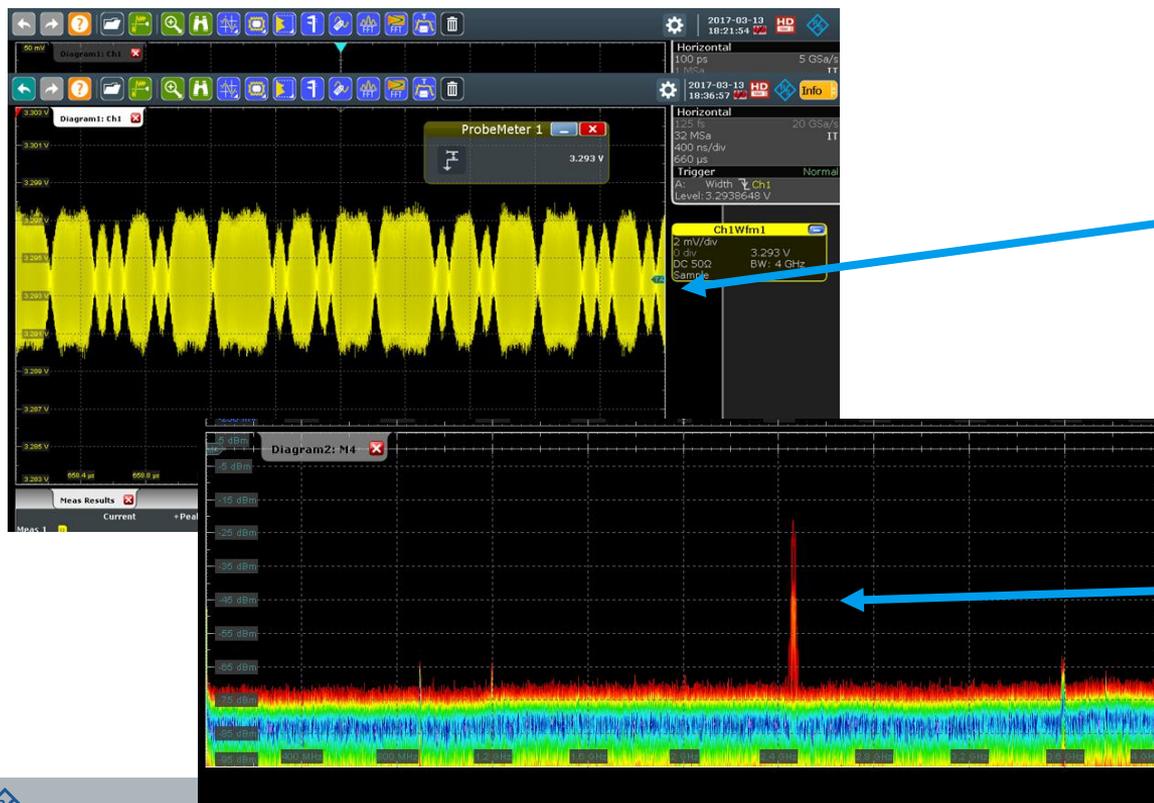
$V_{pp}$  测试与统计

内置独立16bit电压计  
实现高精度DC电压测试

高系统带宽协助快速  
发现高频耦合信号

# R&S RTO/RTE + RT-ZPR20 Power Rail Probe

高达1M wfm/s波形捕获率



Fast update rate shows modulated signal on power rail.

Difficult to see on scopes with slower update rate.

Gives an indication that a freq domain view is needed

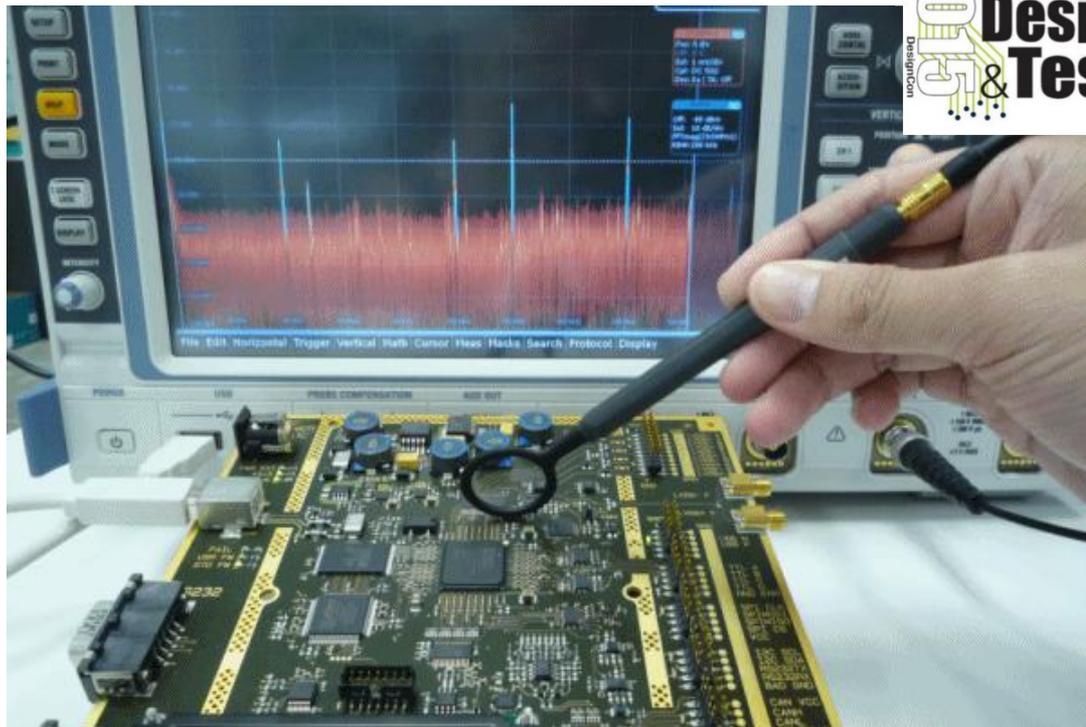
# R&S示波器EMI诊断方案赢得行业认可

## 2015 DesignCon最佳EMI诊断工具奖



示波器全带宽1mV/div输入灵敏度及瞬时频谱分析能力，配合R&S HZ-15近场探头，实现板级EMI诊断

### Hz-15近场探头



# R&S 其他高灵敏度探头

**RT-ZP1X**

**1:1 38MHz 无源电压探头**



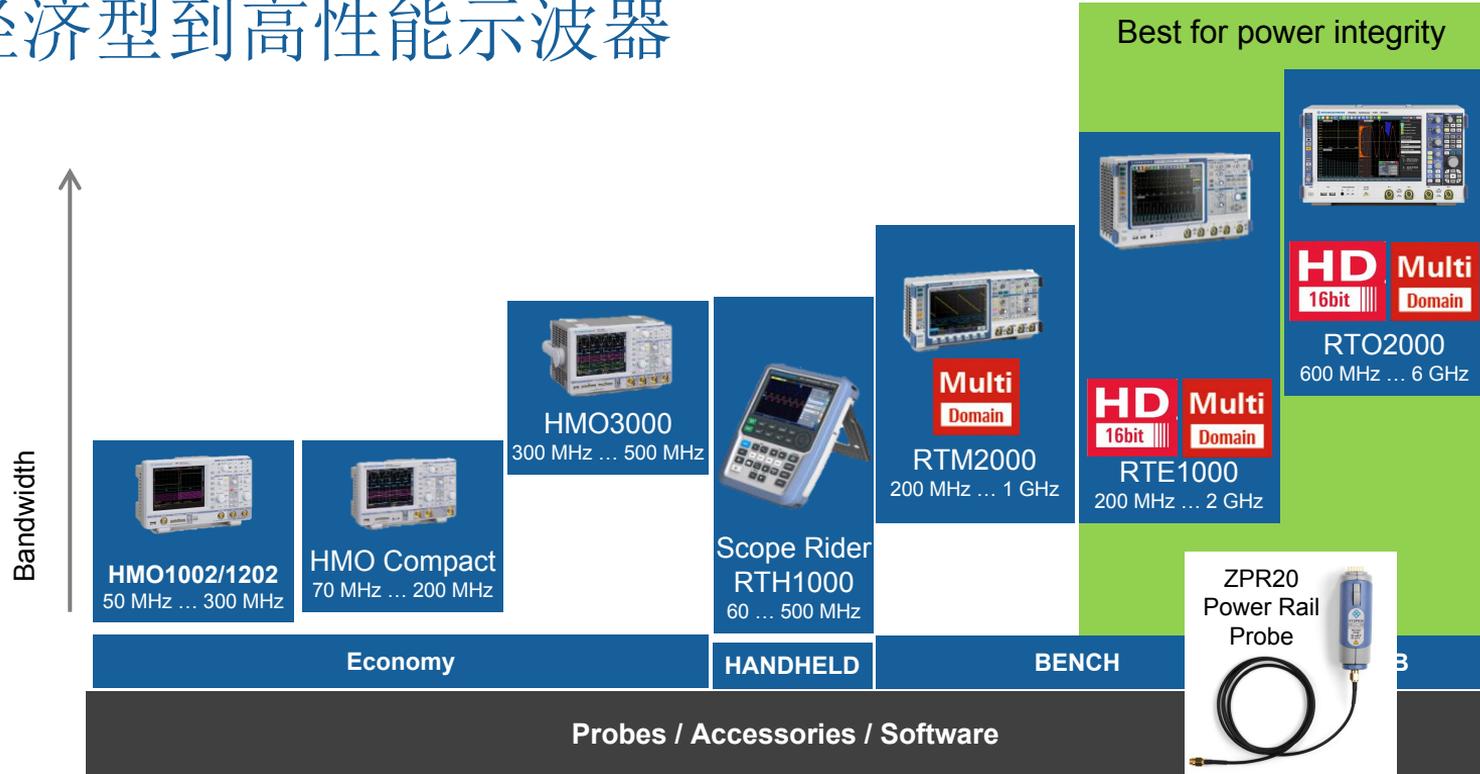
**RT-ZC30**

**1mA/div 120MHz 高灵敏度电流探头**



# R&S示波器产品家族

## 从经济型到高性能示波器



Thank  
You

