

信号完整性Troubleshooting好帮手 ——示波器小信号测量

Oct 2016

吴季元
是德科技

是德科技示波器产品系列

便携式到高性能示波器



Infiniium

- 500 MHz to 63 GHz
- Deep memory debug & analysis
- Win7 OS

InfiniiVision

- 70 MHz to 6 GHz
- Visualization & integration
- Embedded OS



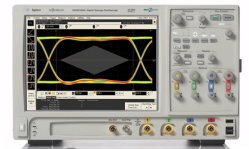
DCA-X Sampling



Z-Series



V-Series



90000A Series



S-Series



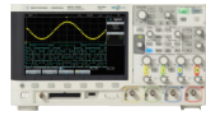
U1600 Series



U2700 Series



1000 Series



2000 X-Series



3000T X-Series



4000 X-Series



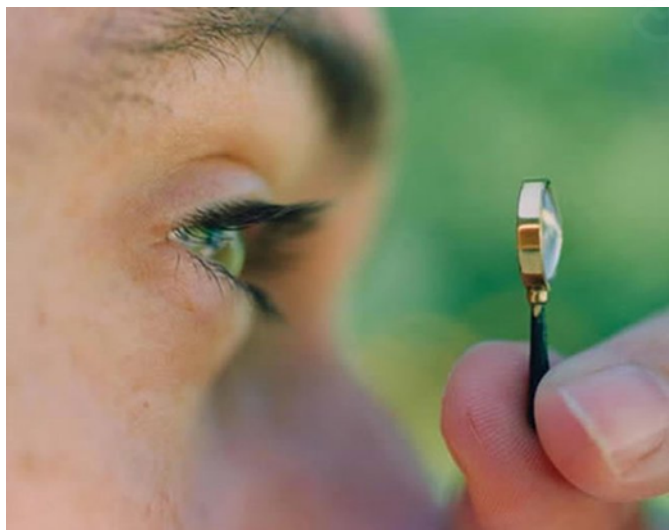
6000 X-Series



6000 L-Series

什么是小信号？

- 绝对幅度很小的信号
- 附加在直流信号上，变化范围很小的信号
- 信号幅度时大时小，动态范围超过100倍
- 电磁辐射信号，随距离变化而变化



如何选择正确的示波器测量小信号

- ✓ 选择以信号保真度和完整性见长的示波器：Infiniium S 系列示波器
- ✓ 选择合适的探头：偏置范围和探头衰减/增益比两个指标最重要
 - **N2820A/21A 500KHz~3MHz探头可测量 3uV 和 50uA 的小信号**
 - N7020A 1:1 2GHz探头可测量亚mV级的信号
 - 普通1:1无源 和各种 > 1:1 的探头
- ✓ 最大化示波器垂直分辨率的小窍门
 - 要让示波器的ADC工作在满量程状态下
- ✓ 有局限性的其它窍门
 - 使用高分辨率方式降低示波器本底噪声
 - 使用平均方式降低示波器本底噪声
 - 使用带宽限制或低通滤波器来降低示波器本底噪声

如何选择正确的示波器测量小信号

✓ 选择以信号保真度和完整性见长的示波器：如 Infiniium S 系列示波器

1. 10比特和8比特ADC的区别
2. 如何评估示波器本底噪声
3. 垂直刻度和量程对测量精度的影响
4. 频响曲线对测量精度的影响
5. 频域杂散对测量精度的影响
6. 时基精度对测量精度的影响
7. 示波器固有抖动对测量精度的影响
8. 示波器的有效位(ENOB，是垂直和水平系统精度的综合反映)



“准确的波形形状和测量结果”

✓ 选择合适的探头：偏置范围和探头衰减/增益比两个指标最重要

选择以信号保真度和完整性见长的示波器

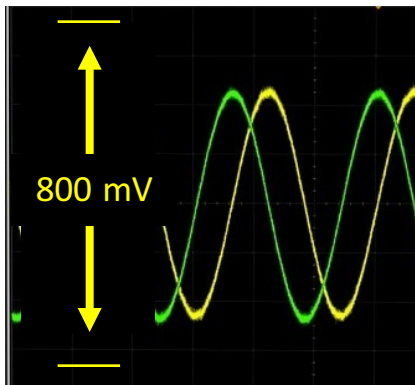
选择ADC位数更高的示波器：10比特比8比特示波器分辨率好4倍

10比特示波器已经推出，垂直分辨率理论值提升4倍

- 内部采用单颗ADC: 40 GSa/s 实时采样率, 10比特
- ADC ENOB 高达 8.7位
- 在500MHz~8GHz带宽范围内，不必再选择8比特示波器了



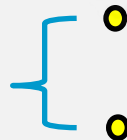
65 nm CMOS 工艺ADC
(以及130 nm Bi-CMOS 缓冲IC)



传统示波器(被淘汰只是时间问题)

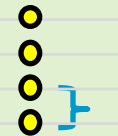
- 8 比特垂直分辨率
- $2^8 = 256$ 级

3.125 mV



Infiniium S 系列 ADC

- 10 比特垂直分辨率
- $2^{10} = 1024$ 级



0.781 mV

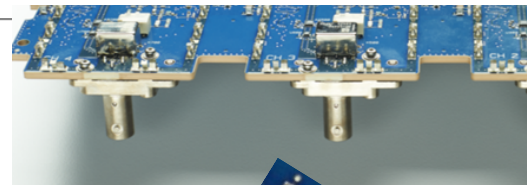
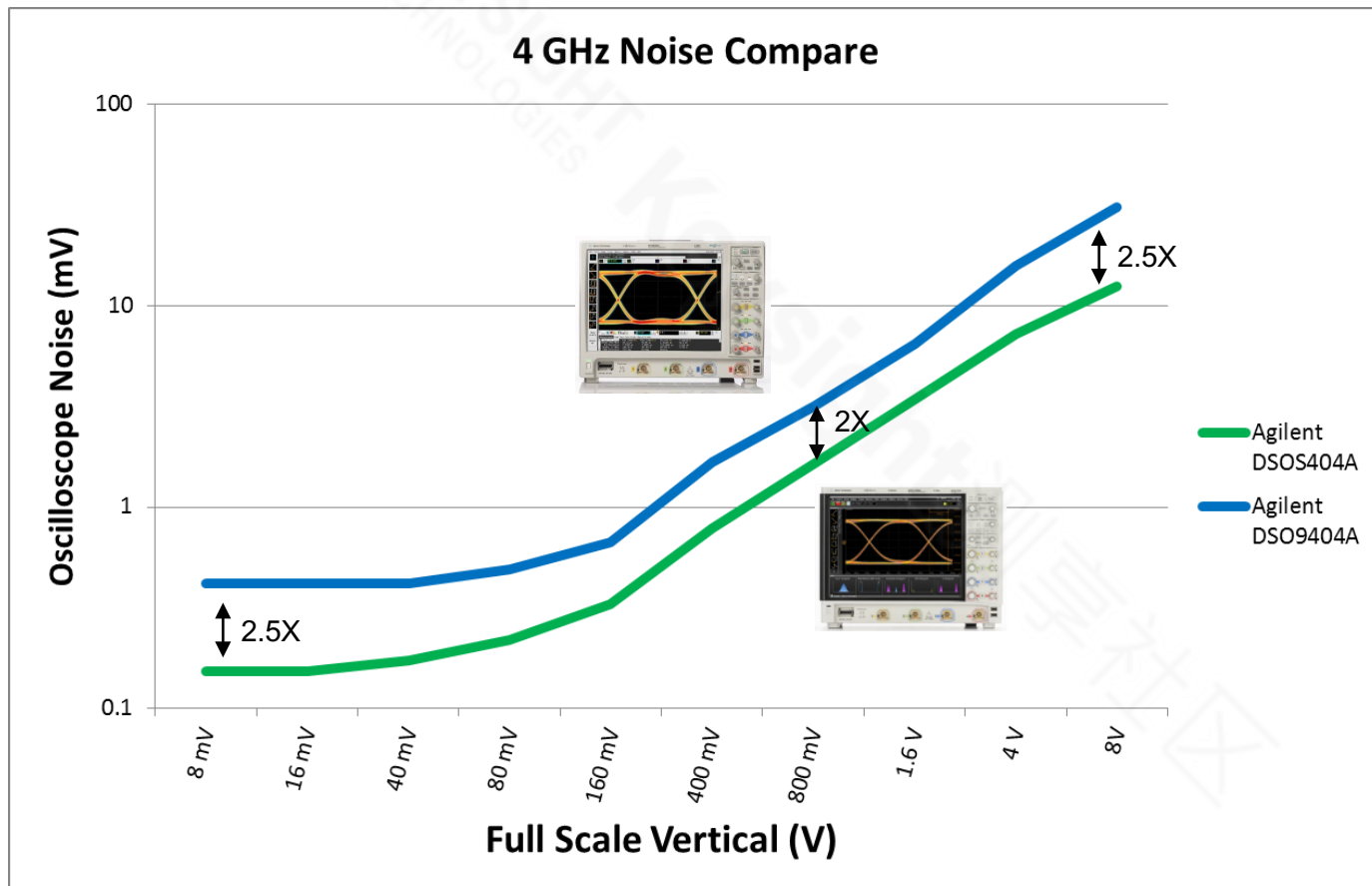
800 mV 量程下的最好分辨率

选择以信号保真度和完整性见长的示波器

不同量程示波器本底噪声是不同的，选择低噪声示波器

S系列 vs Infiniium 9000 系列：以4GHz带宽为例

新的低噪前端 包括几片新的ICs, 50Ω和1MΩ路径, 模拟滤波器

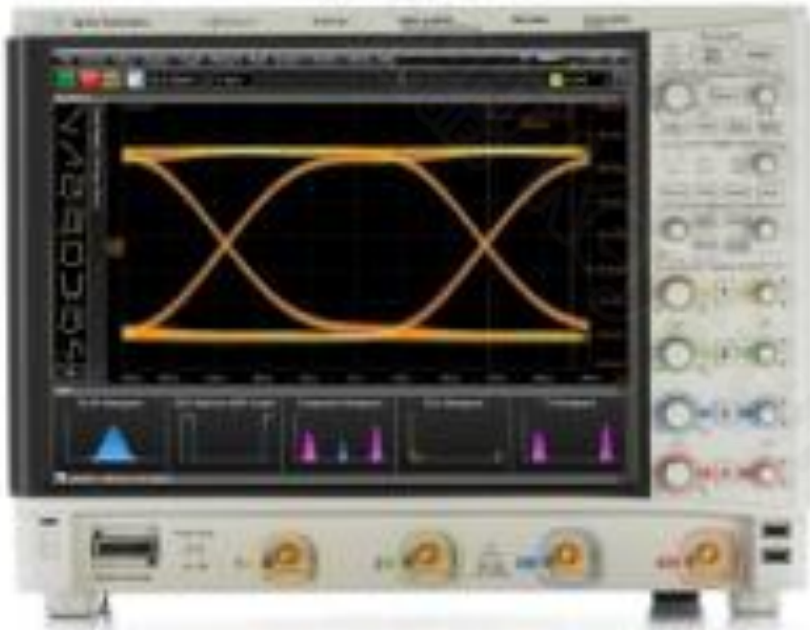


低底噪



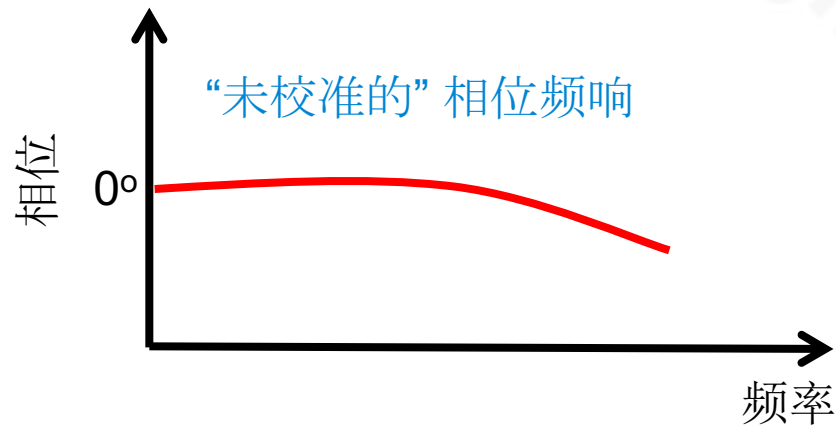
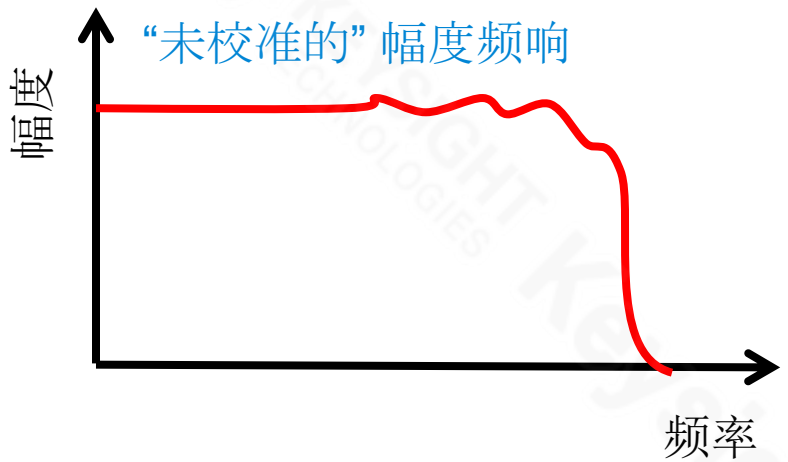
Demo 01

S示波器底噪测量



选择以信号保真度和完整性见长的示波器

波形形状要不失真：选择频响经过校准的示波器



Makeup of a Square Wave

$$F(t) = \cos(\omega t) - \frac{\cos(3\omega t)}{3} + \frac{\cos(5\omega t)}{5} - \frac{\cos(7\omega t)}{7} + \dots$$

频率相位响应没有校正滤波器

Include all harmonics through:

Display options

Expand Scale

Shift higher frequencies by: degrees/harmonic

Harmonics

Include all

Exclude:

Exclude all except:

Display

About...

Exit

This block shows the mathematical representation of a square wave as a sum of odd harmonics. Below the equation is a plot of the square wave on a grid. The text '频率相位响应没有校正滤波器' (Frequency phase response without calibration filter) is overlaid on the plot. Below the plot are control panels for including harmonics, display options, and phase shifting.

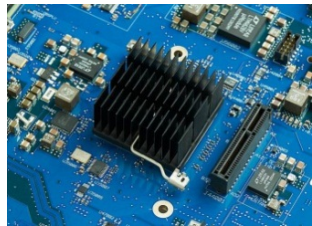
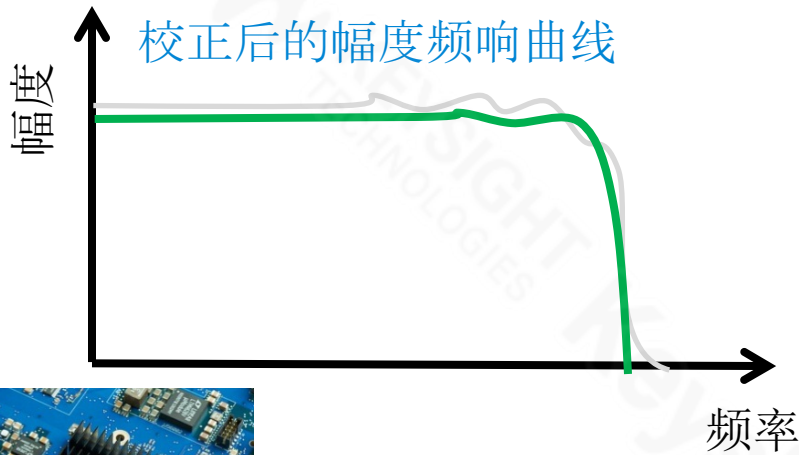
Distorted waveform example

This image shows a screenshot of an oscilloscope screen displaying a distorted square wave. The waveform is yellow and shows significant ringing and overshoot. The text 'Distorted waveform example' is overlaid in yellow. The oscilloscope interface includes various control panels at the bottom, such as 'Vertical Scale', 'Offset', 'Coupling', 'Bandwidth', 'Probe', and 'Pre-Processing'.

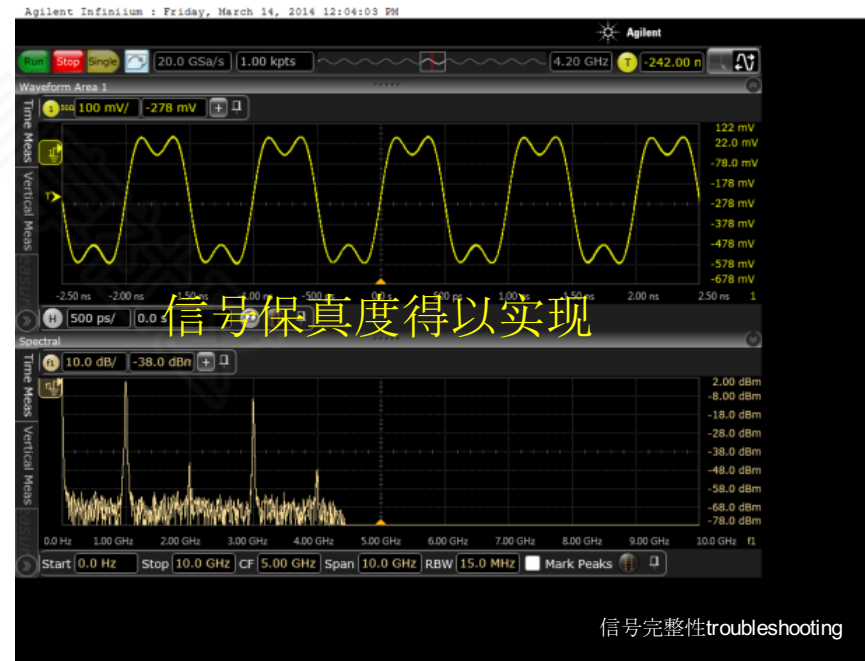
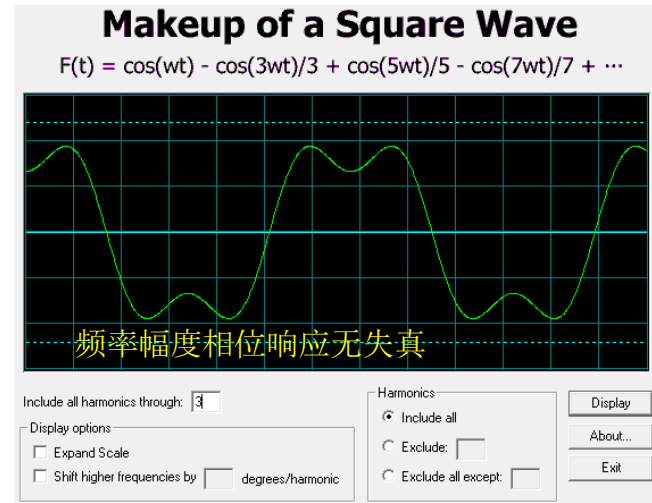
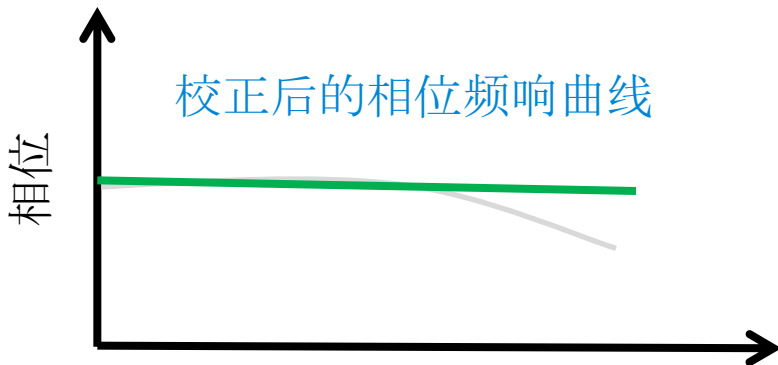
在S系列之前，只有高端的示波器才采用频响校准滤波技术

选择以信号保真度和完整性见长的示波器

波形形状要不失真：选择频响经过校准的示波器



S 系列中校准用的滤波器
用大容量快速FPGA实现

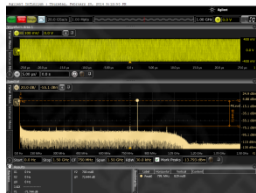


选择以信号保真度和完整性见长的示波器

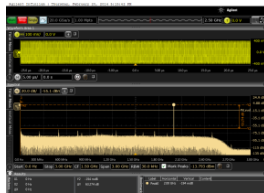
同时观察大信号和小信号：选择动态范围大的示波器



500 MHz



1 GHz



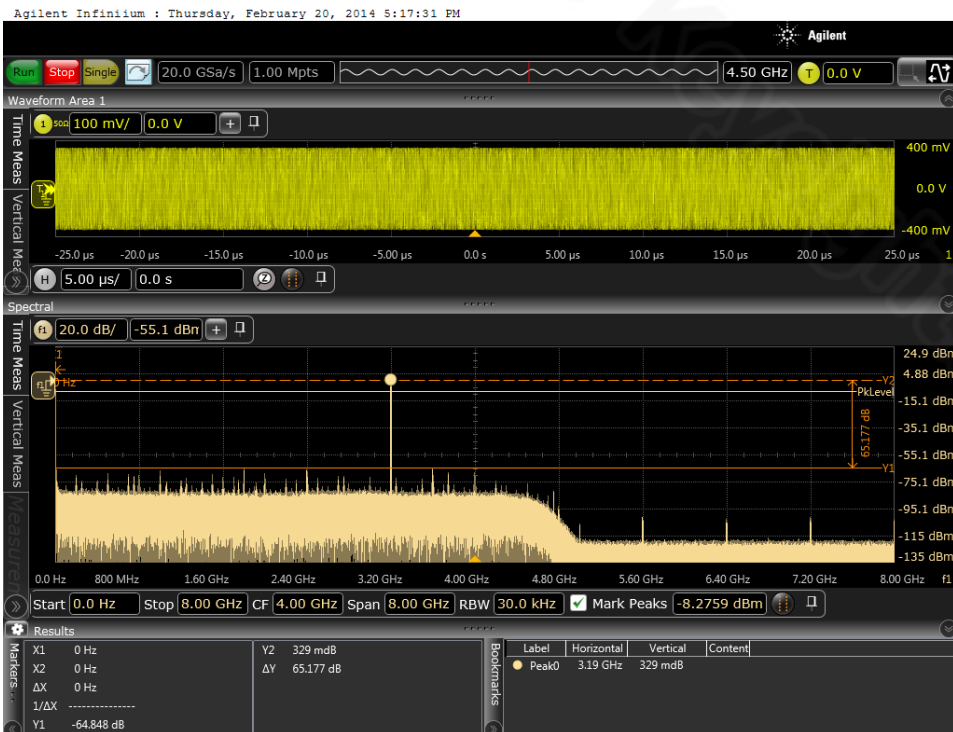
2.5 GHz



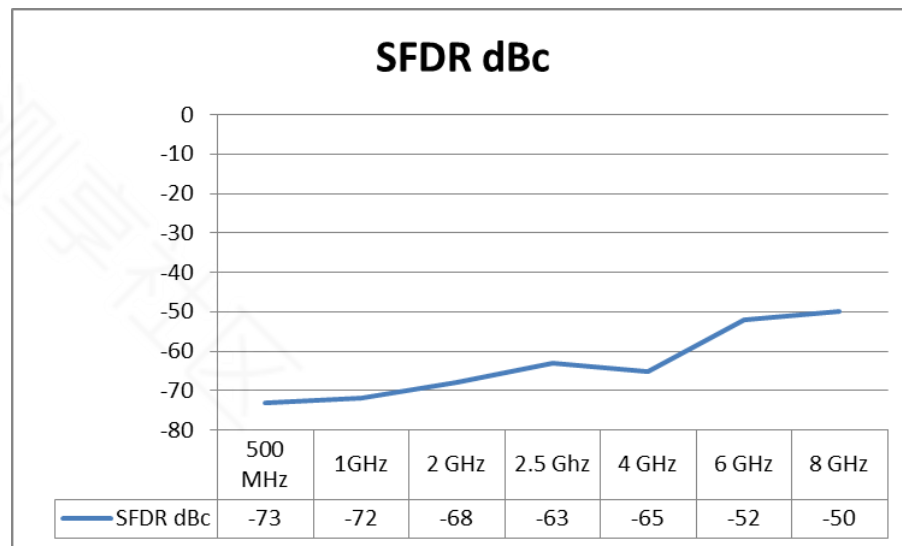
6 GHz



8.4 GHz



$$SFDR = 20 \times \log \left(\frac{\text{Amplitude of Fundamental (RMS)}}{\text{Amplitude of Largest Spur (RMS)}} \right)$$



S 系列示波器的 SFDR 指标比 9000 系列好 10dB 到 15dB

如何选择正确的示波器测量小信号

- ✓ 选择以信号保真度和完整性见长的示波器：Infiniium S 系列示波器
- ✓ 选择合适的探头：偏置范围和探头衰减/增益比两个指标最重要
 - **N2820A/21A 500KHz~3MHz探头可测量 3uV 和 50uA 的小信号**
 - N7020A 1:1 2GHz探头可测量亚mV级的信号
 - 其它常见的探头：20MHz, 35MHz, 13GHz ...

如何选择正确的探头测量小信号

测量小信号: $\leq 500\text{KHz}$, $3\mu\text{V} \sim 1.2\text{V}$ 差分, $\pm 12\text{V}$ 共模

电压和电流双功能探头
N2820A

探头放大器

全局信号通道

局部放大通道

探头前端, 可更换



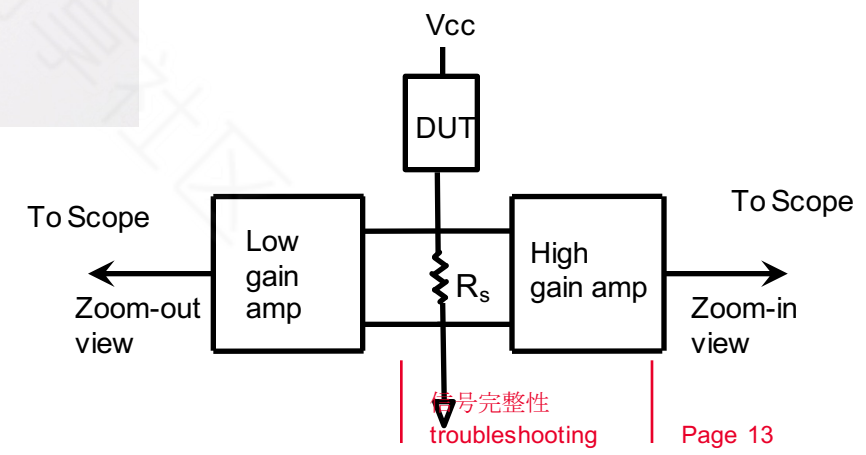
可作为电压探头使用
电压: $3\mu\text{V} \sim 1.2\text{V}$

动态范围: 20,000:1

带宽范围 全局通道: 3MHz

带宽范围 局部通道: 500kHz

也提供单通道型号 N2821A



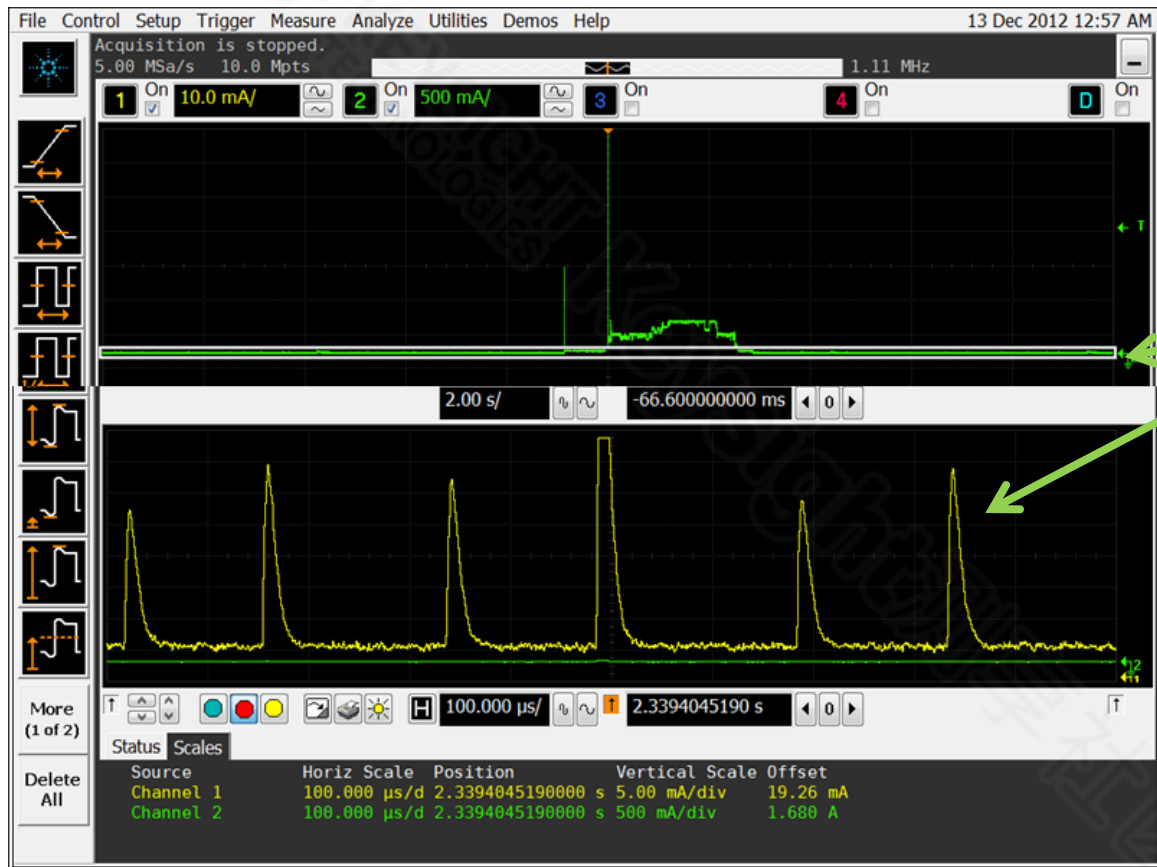
Demo 02

S示波器搭配N2820A探头测量小信号



如何选择正确的探头测量小信号

用N2820A电流探头(0.003:1)测试手机耗电



全局信号

分辨率

- 4 mA (4A/1024)

局部细节放大

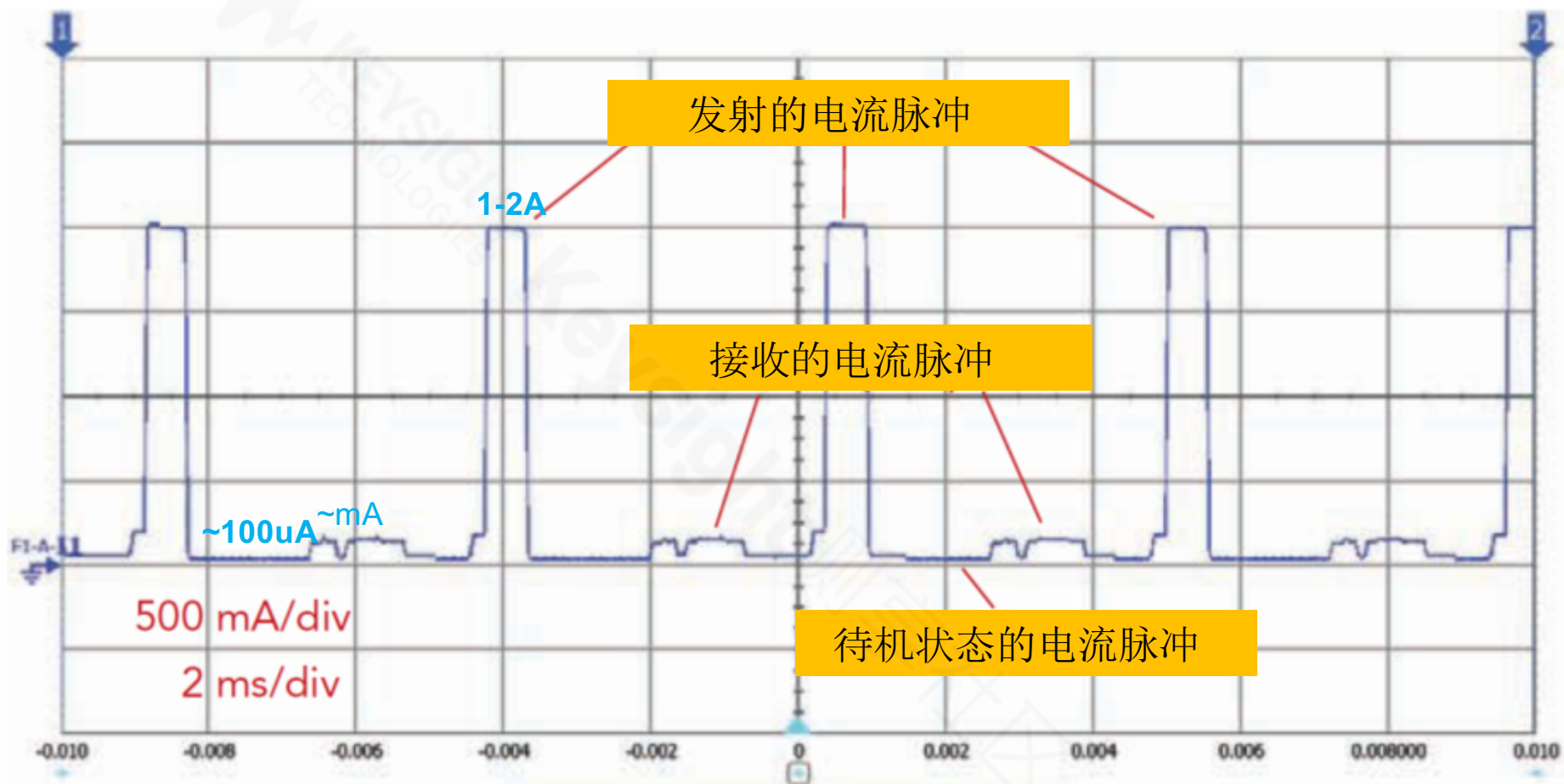
分辨率

- 80 μ A (80mA/1024)

S系列10比特示波器的垂直分辨率是其它示波器的4倍，而N2820A探头又在这基础上，将分辨率提升了50倍

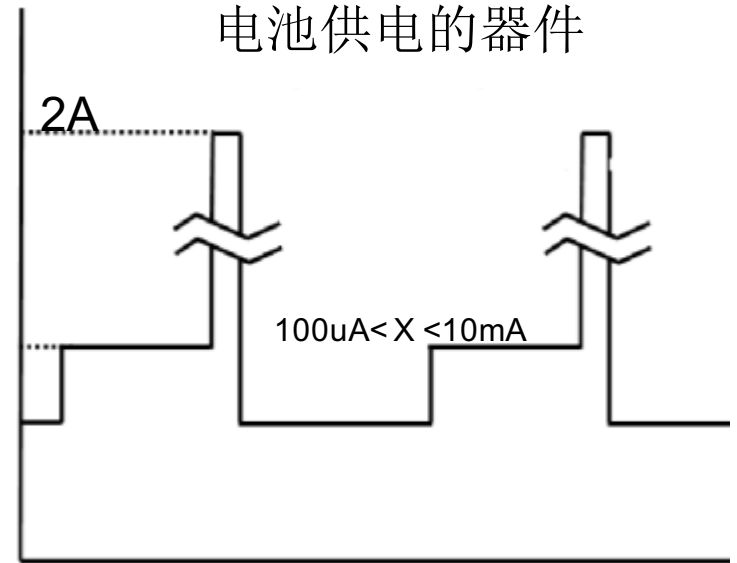
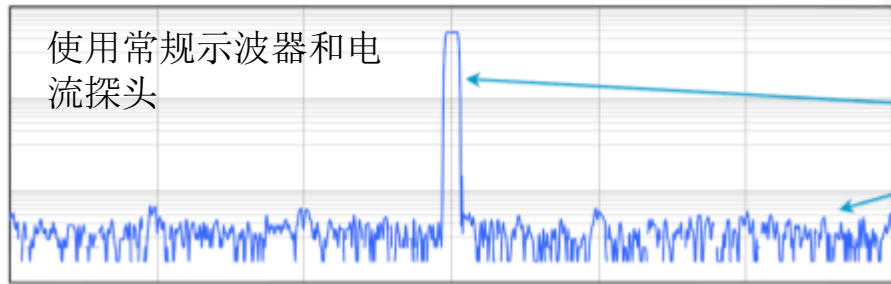
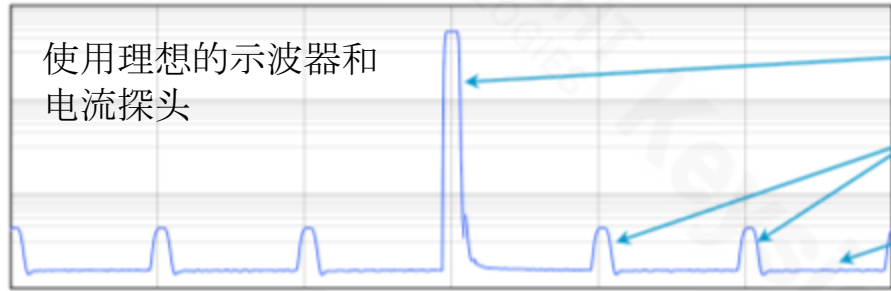
如何选择正确的探头测量小信号

以智能手机耗电测试为例



如何选择正确的探头测量小信号

以智能手机耗电测试为例：垂直分辨率与动态范围



8 比特分辨率不够
 $2A/256 = 8\text{mA}$

10 比特分辨率不够
 $2A/1024 = 2\text{mA}$

两个问题要解决

- 分辨率/灵敏度
- 动态范围

如何选择正确的探头测量小信号

用N2820A电流探头(1:300)测试手机耗电

N2820A特性

- 量程和动态范围由所使用的前端附件决定
 - 最小可测电流: 50 μ A
 - 最大可测电流: 5 A
 - 动态范围最大超过 20,000:1
- 带宽
 - 3 MHz 全局通道
 - 500 kHz 局部细节放大通道
- 前端连接部分可更换阻值: 20 m Ω , 100 m Ω 以及用户自定义模块
- 新的自动测量项目 – 特定时间范围内的电流消耗 (AmpH)
- 兼容InfiniiVision 3kX, 4kX, 6kX 以及 Infiniium S, 9k, 9kX/Q/Z (with N5449A)

N2820A 双通道



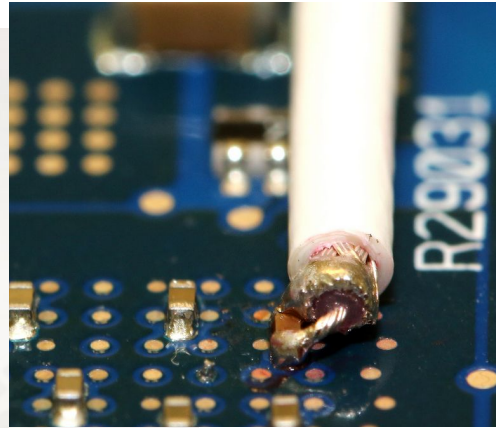
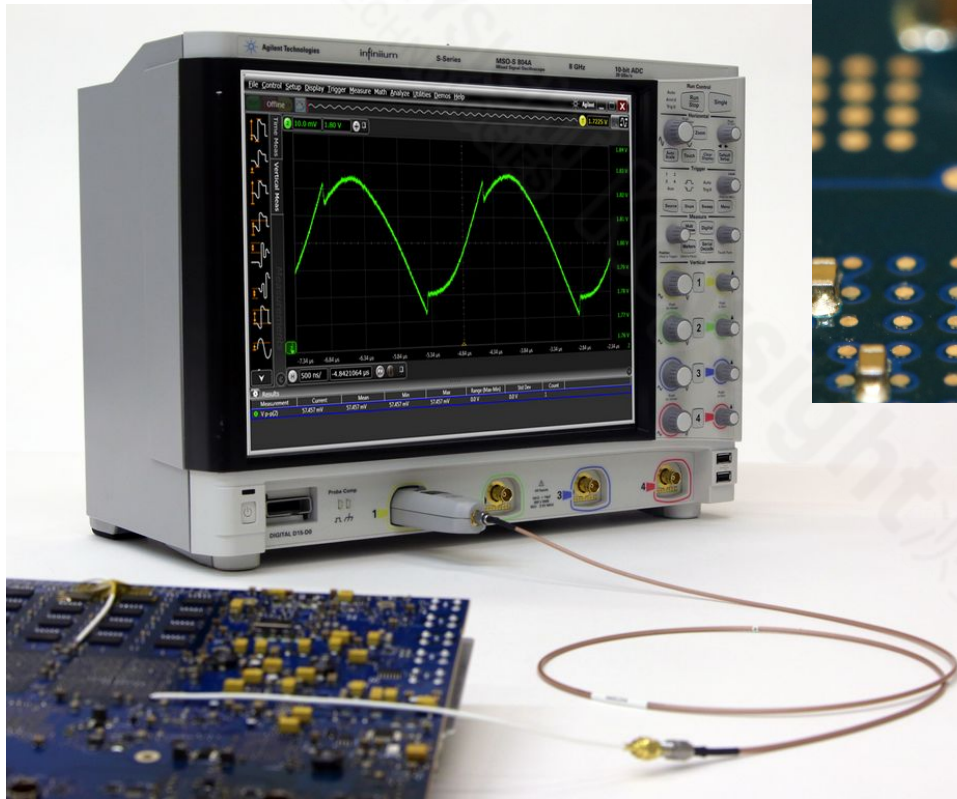
- 500 mW
- 50 μ A - 2.2 A
- \pm 1% tolerance
- For higher sensitivity, bandwidth and lower noise
- Order N2824A for replacement head

如何选择正确的示波器测量小信号

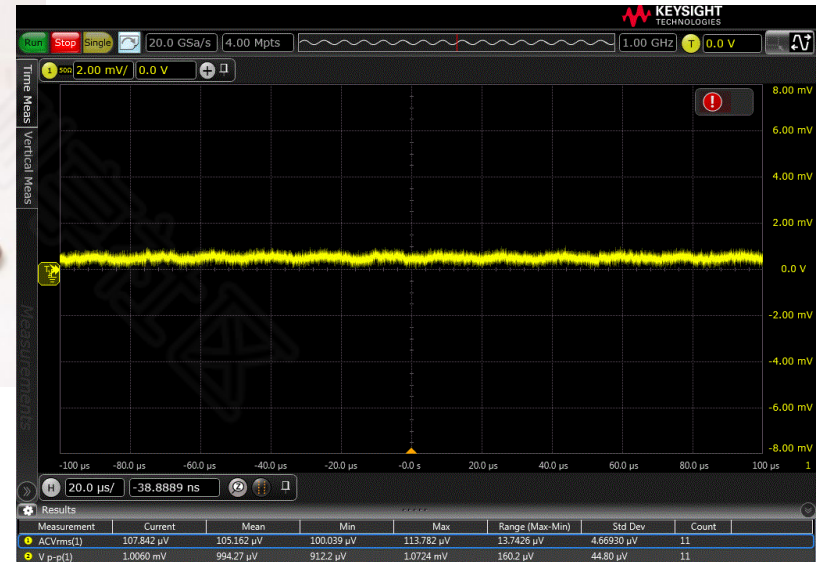
- ✓ 选择以信号保真度和完整性见长的示波器：Infiniium S 系列示波器
- ✓ 选择合适的探头：偏置范围和探头衰减/增益比两个指标最重要
 - N2820A/21A 500KHz~3MHz探头可测量 3uV 和 50uA 的小信号
 - **N7020A 1:1 2GHz**探头可测量亚mV级的信号
 - 其它常见的探头：20MHz, 35MHz, 13GHz ...

S系列示波器配合N7020A探头做电源纹波测试

— 优异的底噪声指标

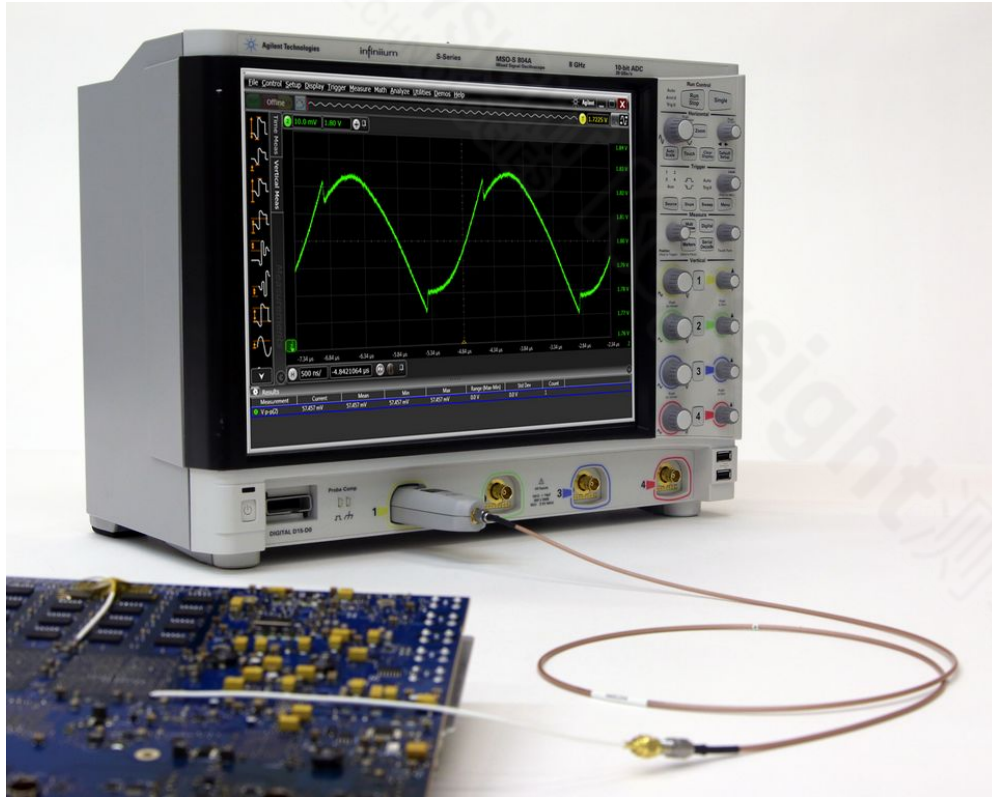


0.9mVpp @ 1GHz



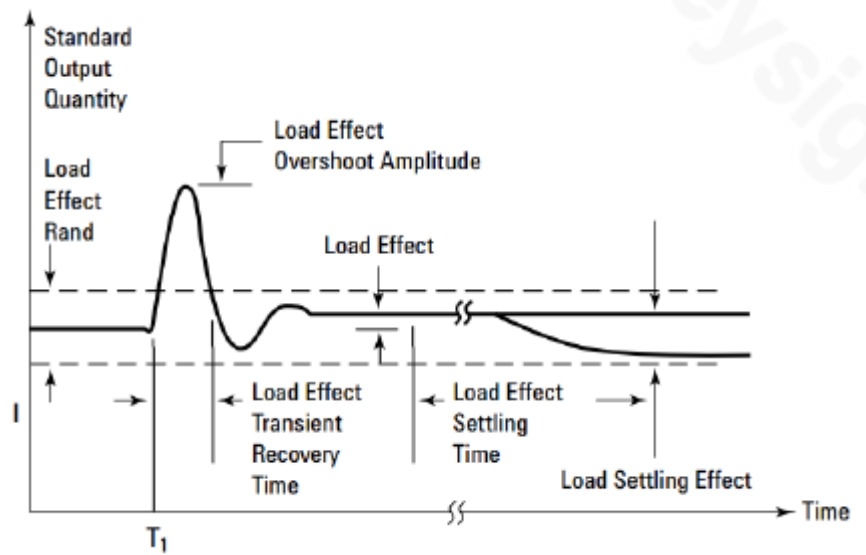
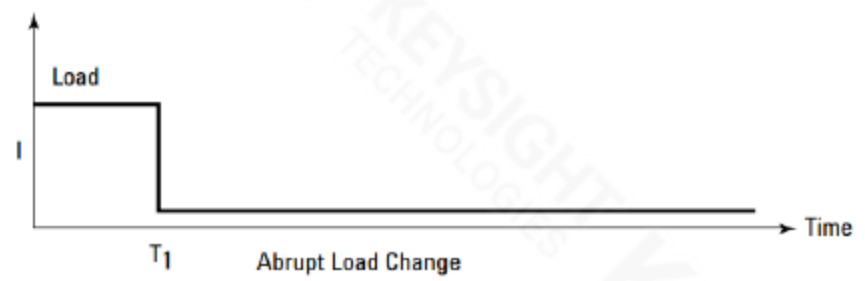
Demo 03

S示波器搭配N7020探头测量小信号



如何选择正确的探头测量小信号

测量电源纹波: < 10mV on 1.1,1.5,1.8,3.3,5,12&24V

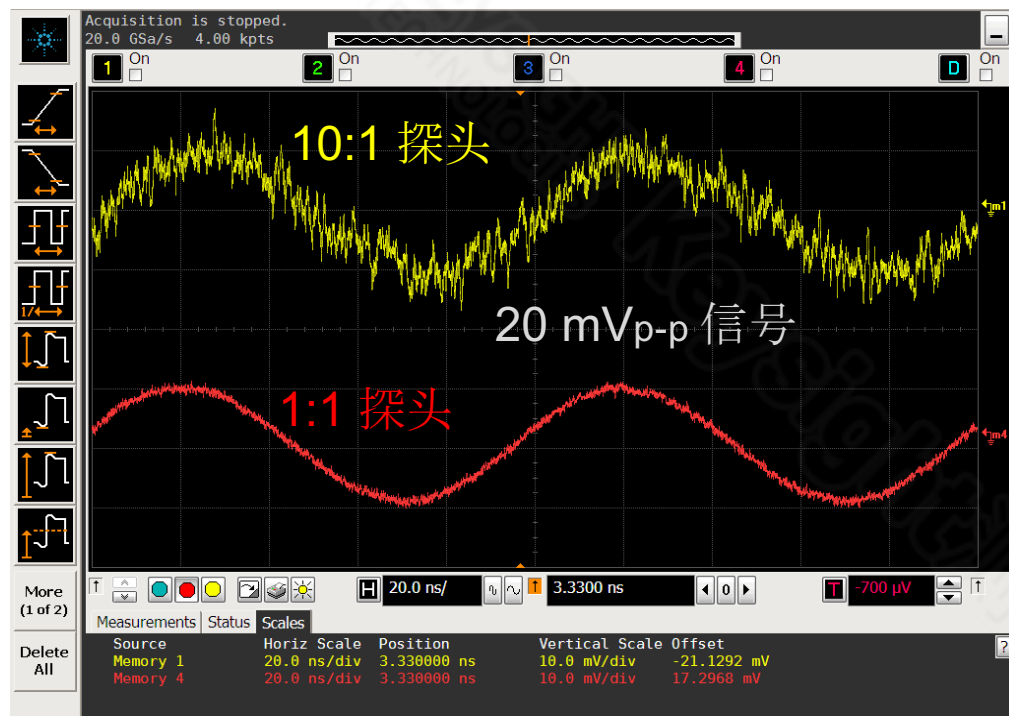


电源小信号测试用探头N7020A

- 带宽: 2GHz
- 偏置: +/- 24V
- 输入电压范围: +/- 850mV
- 噪声: ~35uVrms@2GHz
- 标配附件: 一米长SMA电缆和8英寸焊接前端
- 输入阻抗@DC: 50 kohm
- 输出阻抗: 50ohm

如何选择正确的探头测量小信号

探头衰减比：0.003:1 优胜于 1:1, 3.45:1, 5:1 优胜于 10:1 探头

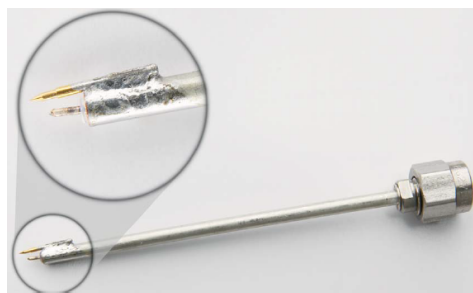


衰减比越小越好，配合磁珠效果更好

- 磁珠套在靠近探头前端的地方
- 1:1 无源探头比 10:1 无源探头好
 - 20MHz 或 35MHz (N2870A) 带宽
- 地线要尽可能短
- 1130A~1134A, 1168A~1169A 探头衰减比 3.45:1, 可使用 SMA 探头放大器和自制 SMA 前端

1168A 或 1169A 差分探头

- 10GHz 或 12GHz 带宽
- 1130A, 1131A, 1132A, 1134A 差分探头
- 1.5GHz, 3.5GHz, 5GHz, 7GHz 带宽



Demo 04

示波器测量小信号时的技巧

- ✓ 最大化示波器垂直分辨率的小窍门
 - 要让示波器的**ADC**工作在满量程状态下
- ✓ 有局限性的其它窍门
 - 使用高分辨率方式降低示波器本底噪声
 - 使用平均方式降低示波器本底噪声
 - 使用带宽限制或低通滤波器来降低示波器本底噪声