

新能源系统研发中超高压测量和超低压测量的挑战

汪进进

Frankie.Wang@lecroy.com

13828763297



力科公司致力于做世界上最好的示波器

- 世界上最高可用带宽的示波器
60GHz VS 33GHz VS 32GHz
- 世界上最高采样率的示波器
160GS/s VS 100GS/s VS 80GS/s
- 世界上最高可分析存储深度的示波器
1024Mpts VS 40Mpts VS 40Mpts
- 世界上最强大分析能力的示波器
最快的眼图测量速度
最精确抖动分解方法
最快捕获异常信号能力

二十多年来我们专注于示波器创造

我们创造示波器:

- 准确地捕获、测量和显示信号
- 集成硬件和软件结构，缩短测量时间，提供洞察力
- 满足信心地查看、调试、验证或检查标准一致性

Signal Complexity ↑



- ✓WaveJet 300A
- ✓100 MHz – 500 MHz



- ✓WaveAce
- ✓40 MHz – 300 MHz



- ✓WaveSurfer MXs-B
- ✓200 MHz – 1 GHz



- ✓WaveRunner 6Zi
- ✓400 MHz – 4 GHz



- ✓WavePro 7Zi-A
- ✓1.5 GHz – 6 GHz



- ✓WaveMaster 8Zi-A
- ✓4 GHz – 45 GHz



- ✓LabMaster 9Zi-A/
10Zi
- ✓60 GHz多通道示波器系统



- ✓WaveExpert
- ✓100 GHz

- 应用深入的调试和分析工具箱，以数字方式和可视方式提取实用信息
- 通过量身定制扩展工程师的能力

带宽 →

今天，我们为客户提供更全面的解决方案

S参数分析仪SPARQ



任意波形发生器

ArbStudio



逻辑分析仪LogicStudio



误码率分析仪+接收机容限测试仪

PeRT3



高压测不准问题

问题：

测试高压时不同品牌的示波器测试的结果差别很大，有一次对比测试中我们发现测试大约450V的MOSFET的V_{ds}电压，三台示波器的最大差别有50V左右；同一品牌不同型号的示波器差别也很大；同样的示波器不同探头测量结果有时差别也很大。

为什么？到底该相信哪一个测量结果？

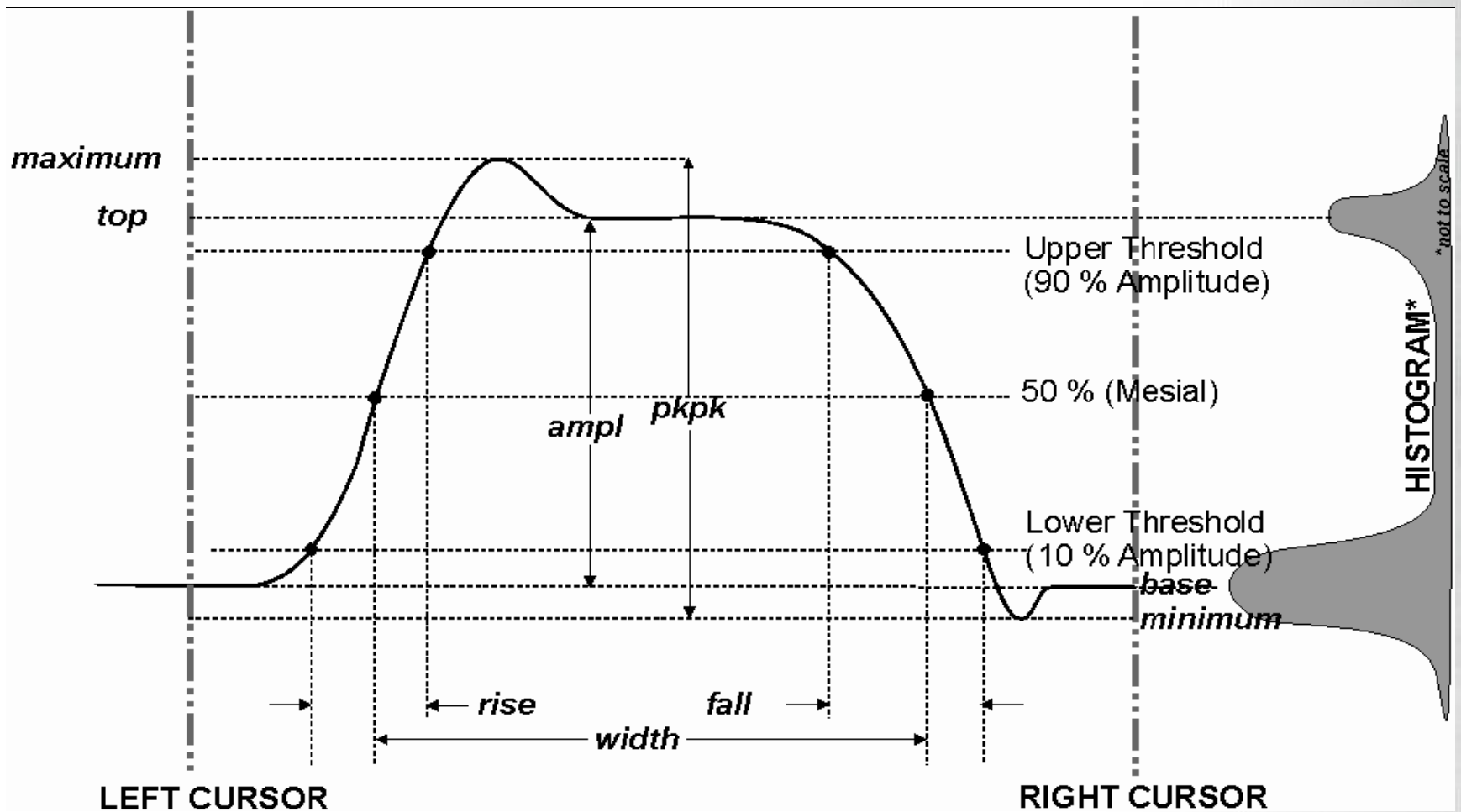
Remember——a Scope is a 10% instrument.

Art Pini

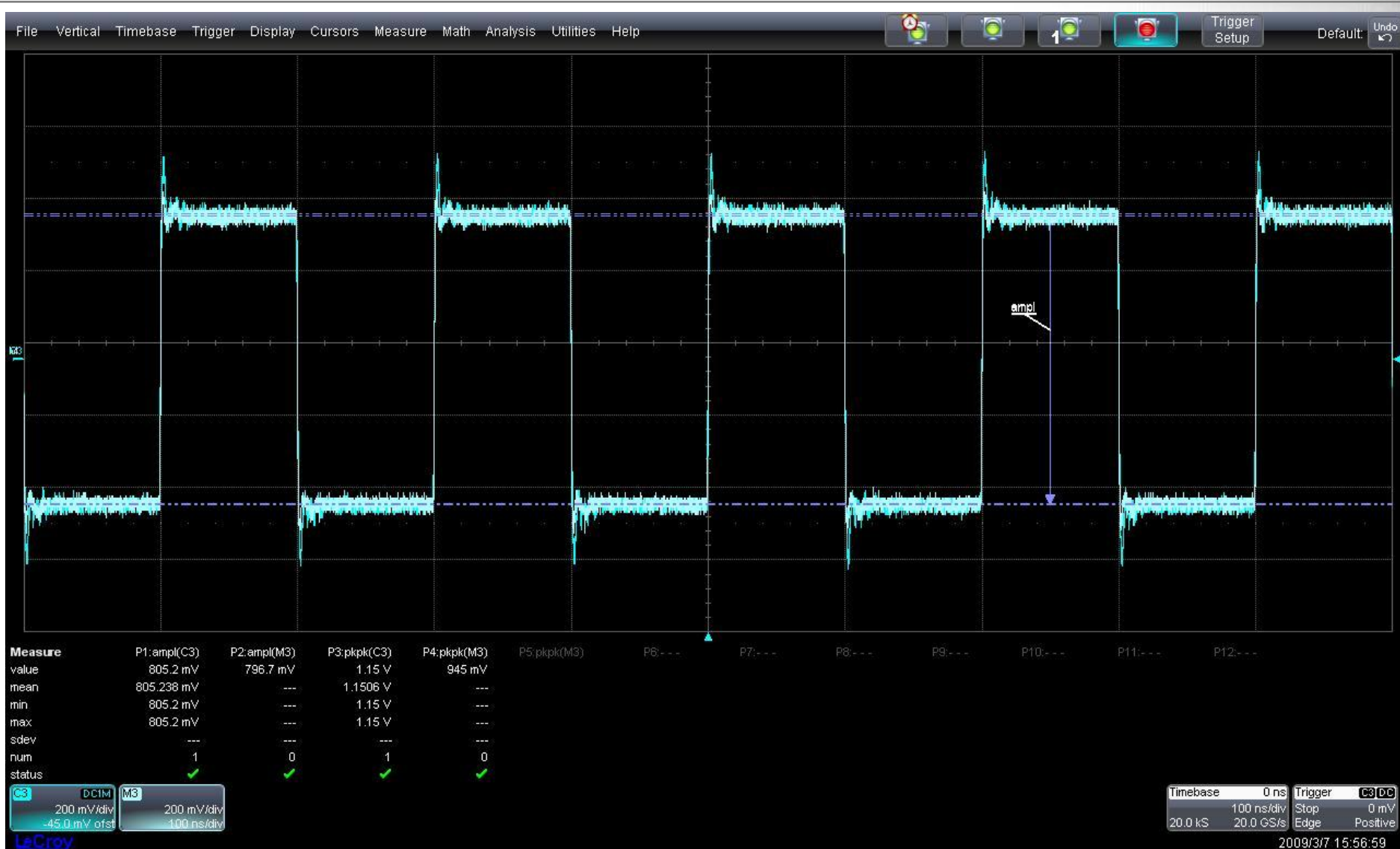
影响电压测量精确度的因素

- 1, 放大器（包括示波器和探头）的线性度
- 2, 探头的地线（地线长短，地环路的位置，形状等）
- 3, 地环路的干扰
- 4, 量化误差
- 5, 探头的负载效应在不同频率下的值不恒定
- 6, 探头摆放的位置
- 7, 接近探头前端的寄生参数
- 8, 探头/示波器的反射
- 9, 被测线路的阻抗在不同频率下的值不恒定
- 10, 共模补偿
- 11, 非线性相位响应

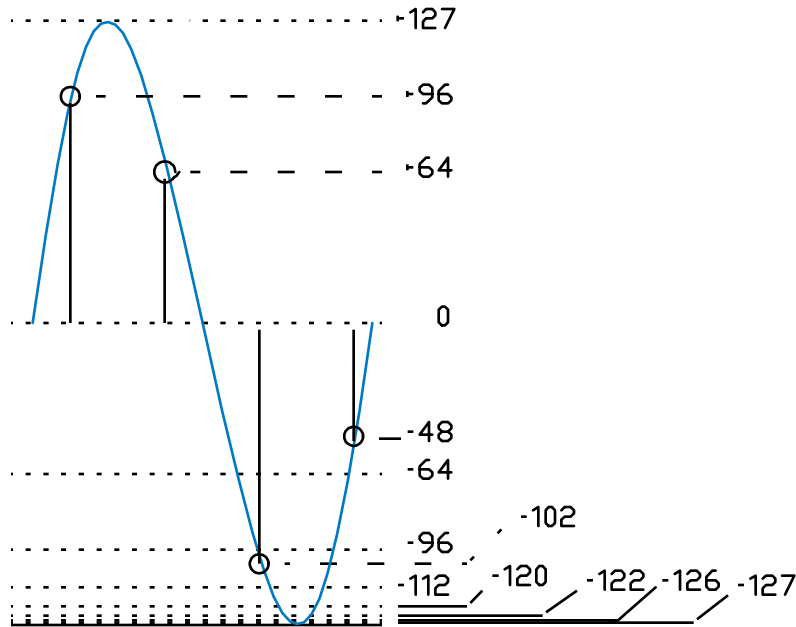
幅值的算法



“看上去”完全重合的波形，测量出的垂直量的差别有多大？



示波器的数字化基础



N位精度的ADC将一个模拟电压转换为N个比特的二进制数

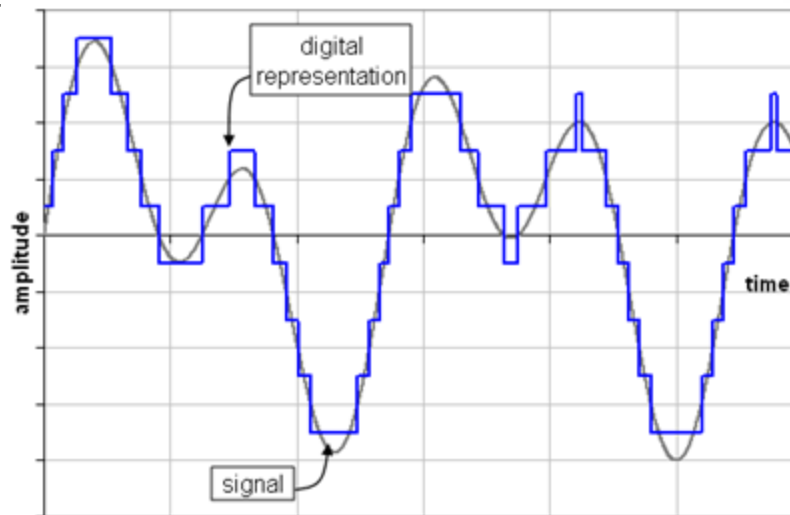
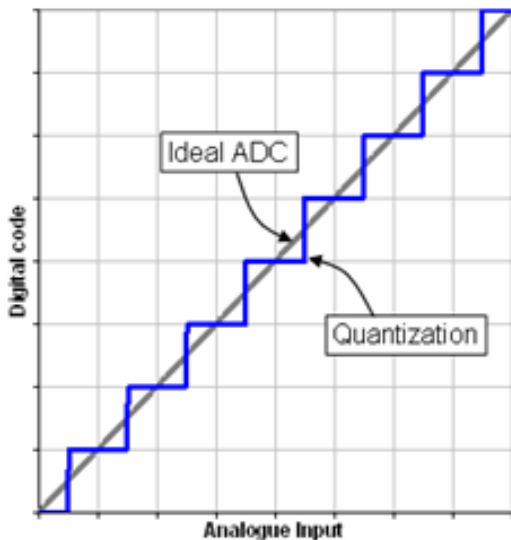
# Bits	resolution
8	255:1
N	$(2^n - 1) : 1$

力科采用符号的二进制格式来作为数字输出，因此在屏幕的顶部的二进制代码为+127，屏幕中间为0，屏幕底部为 -128。

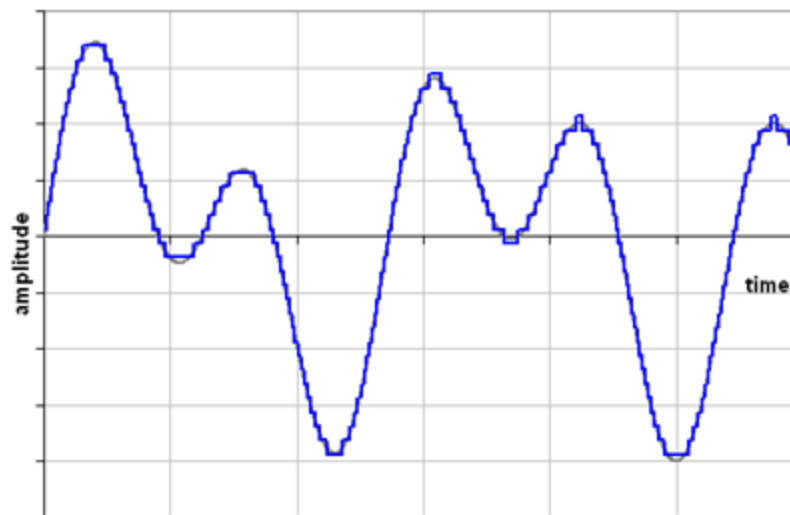
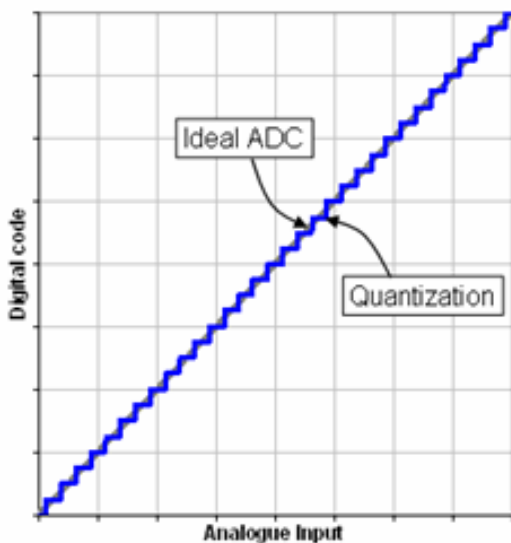
Decimal	Signed Binary
+127	11111111
+1	10000001
0	10000000
-1	01111111
-128	00000000

二进制代码通过垂直增益和偏置的对应为不同的电压值。

量化误差



3位ADC



5位ADC

连续的模拟信号在转换为数字信号的离散化过程中，由于没有无限数量的离散化的数字电平来重组连续的模拟信号，实际的模拟电压值与对应的数字化电平值之间总会有偏差，这个偏差值叫量化误差。在一定数值范围内的电压用相同的二进制代码来表示，因此，这个量化的不确定性是 $\pm 1/2\text{LSB}$ 。LSB可以理解为数字化的步进。量化误差是指量化结果和被量化模拟量的差值，显然量化级数越多，量化的相对误差越小。量化级数指的是将最大值均等的级数，每一个均值的大小称为一个量化单位。

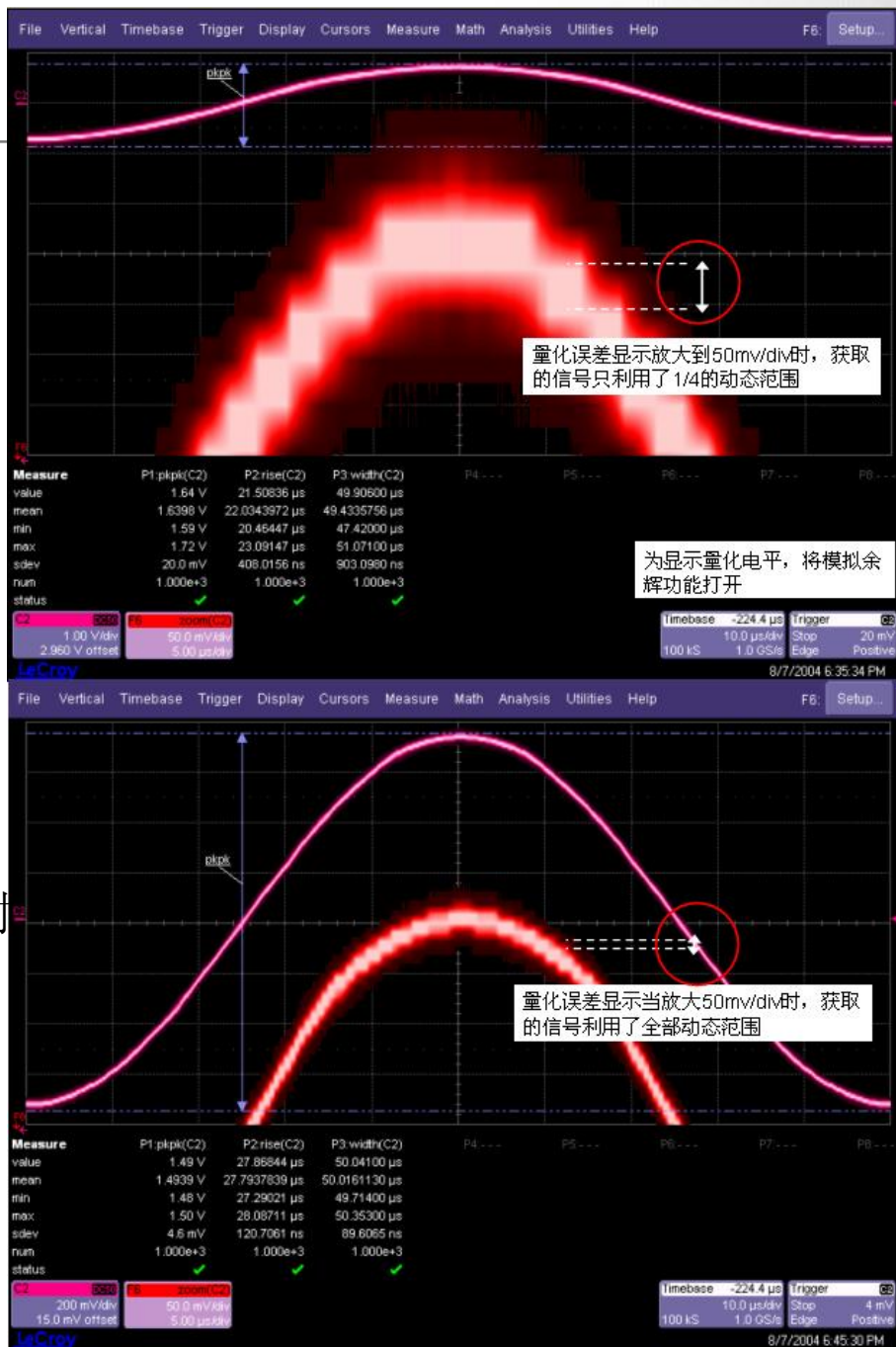
量化误差对测量的影响

实验:

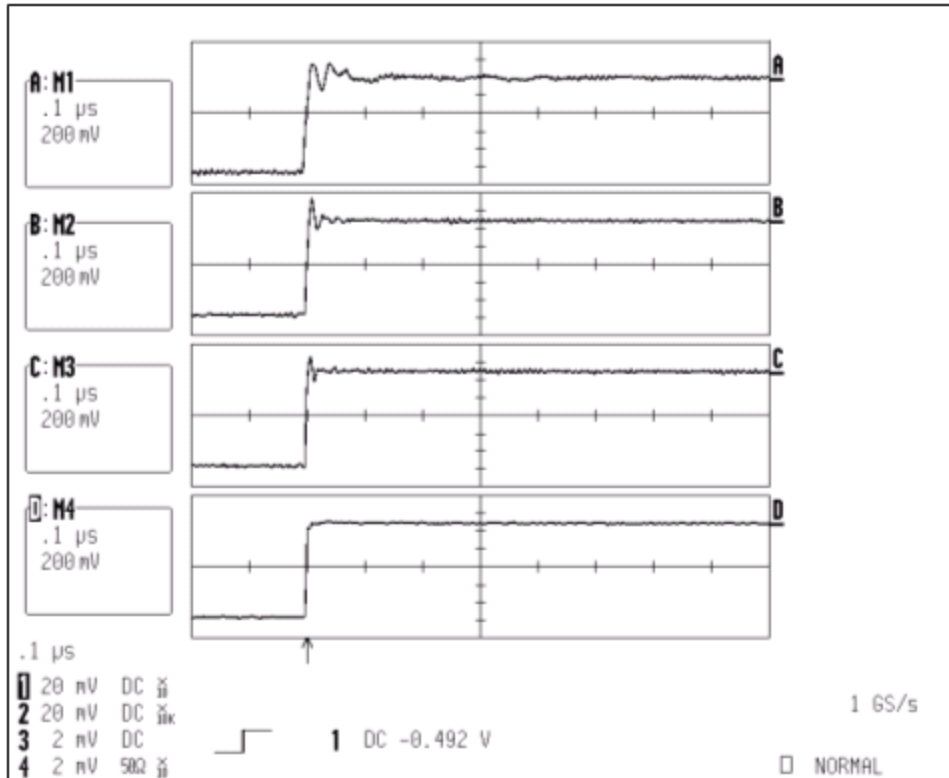
将探头的地和信号针直接相连悬在空中，比较量程为20mV/div和100V/div时的pk-pk值，其差异是多大？几十伏的差异！！

这表示在100V/div时测试出来的20V的信号，实际上只有不到20mV！ 所以 对于测量800V的高压，20V的误差是非常非常正常的！ 50V也是非常正常的！

右边图形中，上图在1V/div 时测量出的Pk-pk值是1.6399V，下图在200mv/div时测量出的Pk-pk值是1.4939V。



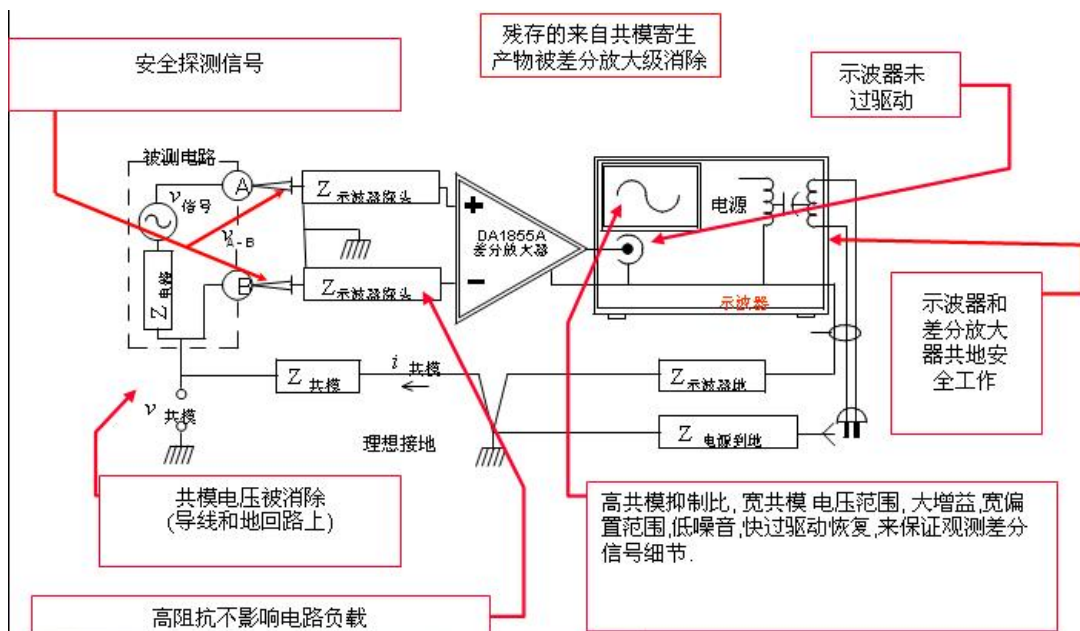
地线的影响



使用 $\div 10$ 无源探头测量的脉冲
A: 没有地线
B: 50 cm地线
C: 10 cm地线
D: BNC直接电缆连接
(真实信号形状)

有些工程师为了省事，同时用多个通道时，只将一个探头的地线接上，这无疑为对测量结果影响很大。探头的地线越短越好，地线和信号线之间的环路面积越大，辐射带来的影响越大。

探头的共模抑制比和快恢复特性



MOSFET关断时的Vds电压为400V以上，在MOSFET导通时的Vds电压只有100mV，需要在示波器中清晰地看到100mV，这意味着示波器和探头构成的测试系统能够从400V电压中拾取100mV的小信号，这需要探头具有10万分之一的共模抑制比。只有力科的差分放大器DA1855A具有这样高的共模抑制比。

对于Vds电压测试，由于从400V电压跳变到100mV的电压是瞬间的突变，如果探头没有很好的快过驱动恢复能力，会导致示波器过驱动，测试出来的结果也是不准确的。MOSFET导通时的100mV的电压测试出来的结果可能为负的十几伏。只有力科的差分放大器DA1855A提供了很好的过驱动恢复能力，使得能准确测试出MOSFET在导通时的低电压，从而测试出来的Vds电压值才是最准确的。



微弱电压及小电压电源纹波测量

问题：

被测电路是ADC输出的微弱小信号, 输出电压大约是10mV, 能够用示波器准确测量出来吗?

用无源探头测量1.8V的电源纹波, 每次测量的结果都30mv, 测量一年始终是这样的结果, 始终不能满足5%的指标要求。 为什么?

小电压电源纹波的定义

电源纹波是指叠加在直流信号上的交流干扰信号，是电源测试中的一个很重要的指标。

90年代：5v， 3.3v

当今高速IC： 2.5v， 1.8v， 1.5v

对这类小电压信号的测试即称为电源纹波测试。

小电压电源纹波测试的几个注意点

- 1、**20MHZ**带宽限制的选择
- 2、示波器的量化误差
- 3、避免使用衰减因子大的探头测量小电压
- 4、避免探头的**GND**和信号两个探测点的距离过大

Intel DDR2芯片手册中对电源纹波的要求

AC & DC Operating Conditions

All DC specs envelopes are bandwidth limited to 20 Mhz. All DRAM AC specs must be met regardless of the high frequency noise (>20Mhz) imposed on the DIMM by the DRAM.

Recommended DC Operating Conditions (SSTL – 1.8)

[Intel_DDR2_667_800_Spec_Addendum_rev_1.1.pdf]

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Notes
VDD	Supply Voltage	1.7	1.8	1.9	V	Note 7 & 8
VDDQ	Supply Voltage for Output	1.7	1.8	1.9	V	Note 7 & 8

**20MHZ
带宽限制**

Note 7: Maximum power up interval for VDD/VDDQ is specified as 10.0 ms. The power up interval is defined as the amount of time it takes for VDD/VDDQ to power-up from 0V to 1.8V +/- 100mV.

Note 8: This is the DC voltage supplied at the DRAM and is inclusive of all noise up to 20MHz. Any noise above 20MHz at the DRAM generated from any source other than the DRAM itself may not exceed the DC voltage range of 1.8V +/- 100mV.

Parameter	Symbol	MIN	MAX	UNITS	NOTES
I/O Reference Voltage	V_{REF}	$0.49V_{DDQ}$	$0.51V_{DDQ}$	V	Note 6 & 10
Termination Voltage	VTT	$V_{REF} - 0.04$	V_{REF}	$V_{REF} + 0.04$	
Input High (Logic1) Voltage	$V_{IH(DC)}$	$V_{REF} + 0.125$	$V_{DD} + 0.3$	V	Note 32
Input Low (Logic 0) Voltage	$V_{IL(DC)}$	-0.3	$V_{REF} - 0.125$	V	Note 32
Input Leakage Current (All other pins not under test = 0V) Any input $0V < V_{IN} < V_{DD}$	I_I	-5	5	μA	
I/V Matching: Pullup current to Pulldown current ratio		.71	1.4	None	Note 9

SAMSUNG DDR3芯片手册中对电源纹波的要求

K4B2G0446C
K4B2G0846C

datasheet

DDR3 SDRAM

8. AC & DC Input Measurement Levels

**NO 20MHZ
带宽限制**

8.1 AC & DC Logic input levels for single-ended signals

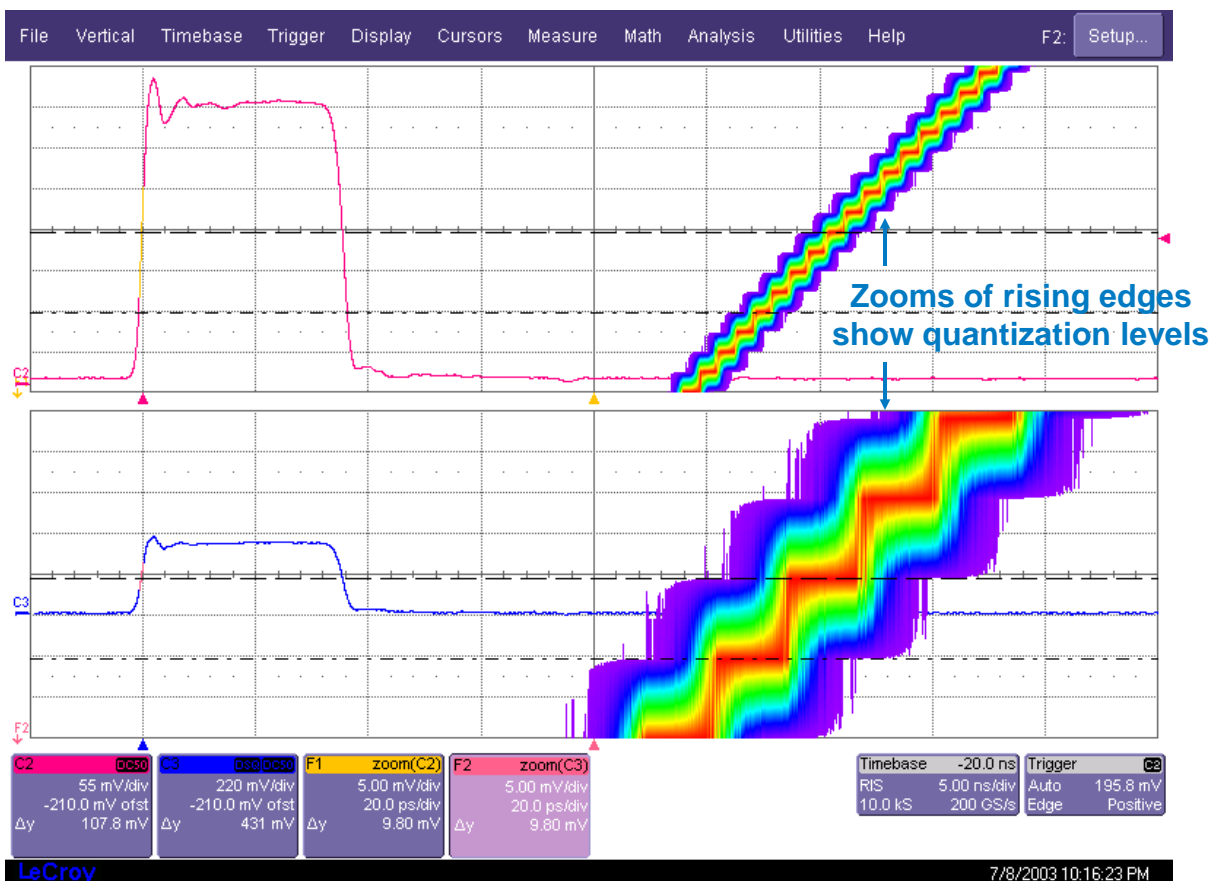
[Table 7] Single-ended AC & DC input levels for Command and Address

Symbol	Parameter	DDR3-800/1066		DDR3-1333/1600		Unit	NOTE
		Min.	Max.	Min.	Max.		
$V_{IH,CA}(DC)$	DC input logic high	$V_{REF} + 100$	V_{DD}	$V_{REF} + 100$	V_{DD}	mV	1
$V_{IL,CA}(DC)$	DC input logic low	V_{SS}	$V_{REF} - 100$	V_{SS}	$V_{REF} - 100$	mV	1
$V_{IH,CA}(AC)$	AC input logic high	$V_{REF} + 175$	-	$V_{REF} + 175$	-	mV	1,2
$V_{IL,CA}(AC)$	AC input logic low	-	$V_{REF} - 175$	-	$V_{REF} - 175$	mV	1,2
$V_{IH,CA}(AC150)$	AC input logic high	-	-	$V_{REF}+150$	-	mV	1,2
$V_{IL,CA}(AC150)$	AC input logic lowM	-	-	-	$V_{REF}-150$	mV	1,2
$V_{REFCA}(DC)$	Reference Voltage for ADD, CMD inputs	$0.49*V_{DD}$	$0.51*V_{DD}$	$0.49*V_{DD}$	$0.51*V_{DD}$	V	3,4

NOTE :

1. For input only pins except \overline{RESET} , $V_{REF} = V_{REFCA}(DC)$
2. See 'Overshoot/Undershoot Specification' on page 19
3. The AC peak noise on V_{REF} may not allow V_{REF} to deviate from $V_{REF}(DC)$ by more than $\pm 1\% V_{DD}$ (for reference : approx. $\pm 15mV$)
4. For reference : approx. $V_{DD}/2 \pm 15mV$

测试电源噪声同样需要关注量化误差



- 8位ADC能把模拟信号转换为256个量化级别
- 占满垂直刻度的信号可以充分利用ADC的垂直动态范围
- 放大信号时信号如果没有占满垂直刻度,则增大了量化的间隔,减小了精度
 - Full Scale = 8-bit resolution
 - $\frac{1}{2}$ Scale = 7-bit resolution
 - $\frac{1}{4}$ Scale = 6-bit resolution
 - Uncertainty = $V_{full\ scale} / 2^n$, where n = number of bits
- 可以使用可变增益使信号的幅度精确匹配ADC的动态范围

衰减4倍后的信号产生4倍量化间隔 = 损失2比特的分辨率!

尽量让波形占满整个屏幕!!!

避免使用衰减因子过大的探头测量小电压

- 如果使用常规的无源探头或有源探头，由于衰减因素为10:1，所以最小档位只能到20mV
- 在20mV档位时，底噪通常大于30mV，无法准确测试1.8/2.5等电压
- 在20mV档位时，探头的offset电压可调节范围很小，如果使用直流耦合，可能测量不到某些电压

使用无源探头测量



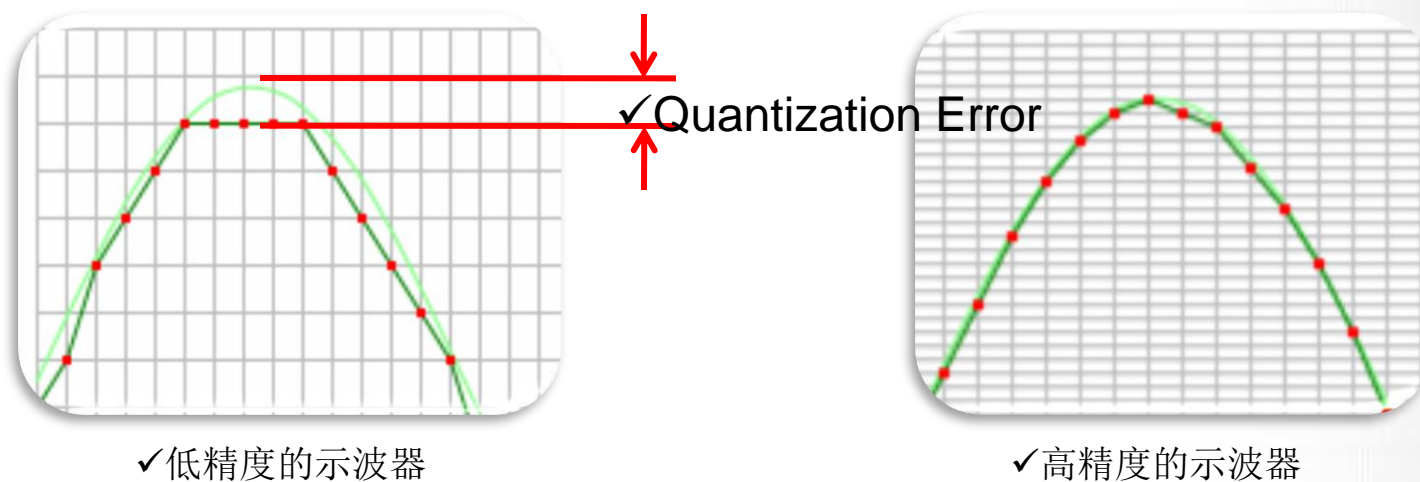
底噪峰峰值大于25mV，无法准确测试小电压（小于3.3v）纹波

解决方法

- 如果使用常规的无源探头或有源探头，由于衰减因素为10:1，所以最小档位只能到20mV
- 在20mV档位时，底噪通常大于30mV，无法准确测试1.8/2.5等电压
 - **解决方法：使用1：1的传输线探头**
- 在20mV档位时，探头的offset电压可调节范围很小，如果使用直流耦合，可能测量不到某些电压
 - **解决方法：在探头中串联隔直模块**
- **使用更高精度的示波器**

12位ADC的量化误差远小于8位ADC

ADC Resolution	Number of Steps	Dynamic Range
8	256	48 dB
12	4096	72 dB

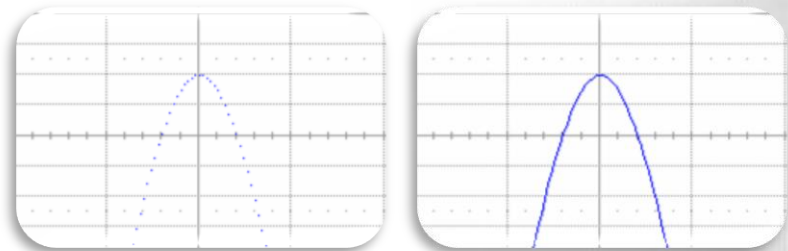


具体化ADC的位数对测量的影响

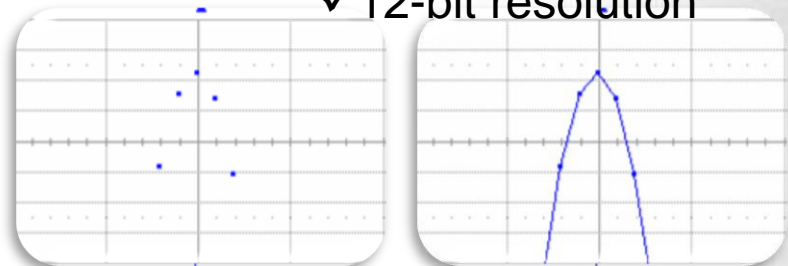
- 更高位数意味着可以测量更小的电压

Full Scale	Smallest Voltage Step	
	8 bits	12 bits
80 V	312.5 mV	19.5 mV
40 V	156.2 mV	9.76 mV
20 V	78.1 mV	4.88 mV
8 V	31.3 mV	1.95 mV
4 V	15.6 mV	976 μ V
1.6 V	6.3 mV	390 μ V
800 mV	3.1 mV	195 μ V
400 mV	1.56 mV	97.6 μ V
160 mV	625 μ V	39 μ V
80 mV	313 μ V	19.5 μ V
40 mV	156 μ V	9.76 μ V
16 mV	62.5 μ V	3.9 μ V
8 mV	31.2 μ V	1.95 μ V

- 用12位ADC测量8V信号，最小可检测到的电压值是1.95 mV，而8位ADC最小只能检测到31.3 mV。

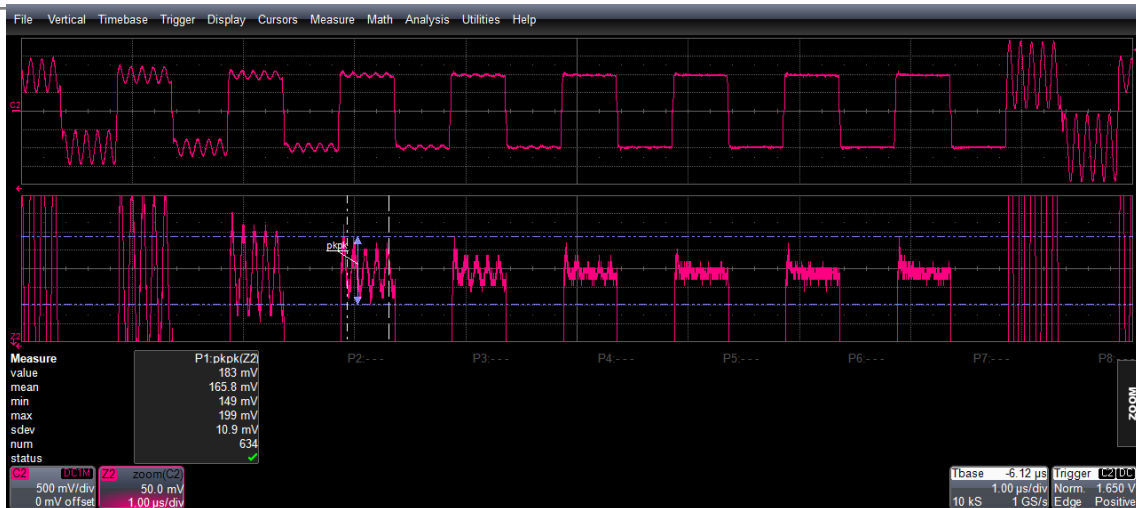


✓ 12-bit resolution

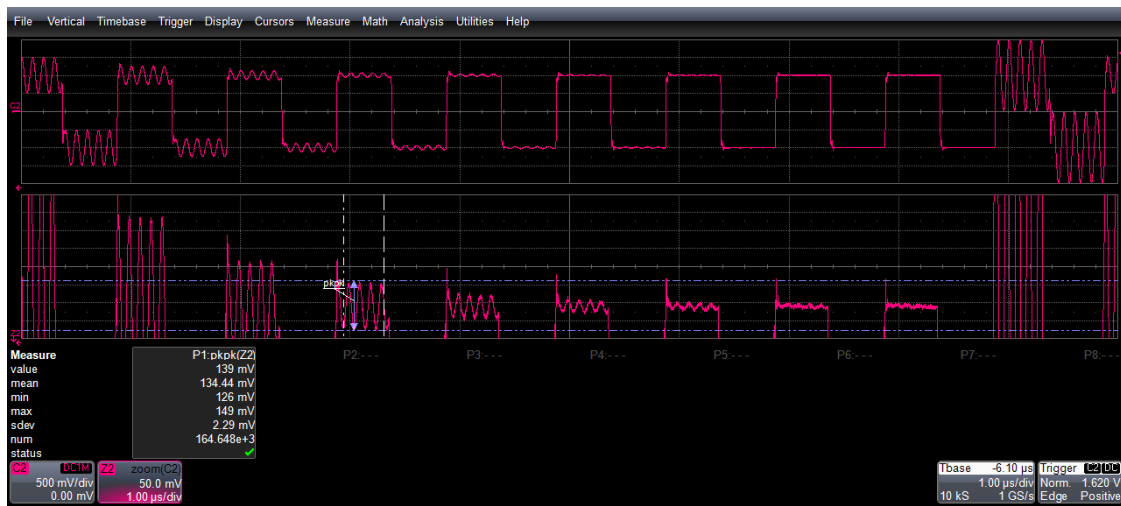


✓ 8-bit resolution

ADC分辨率-12位与8位的对比



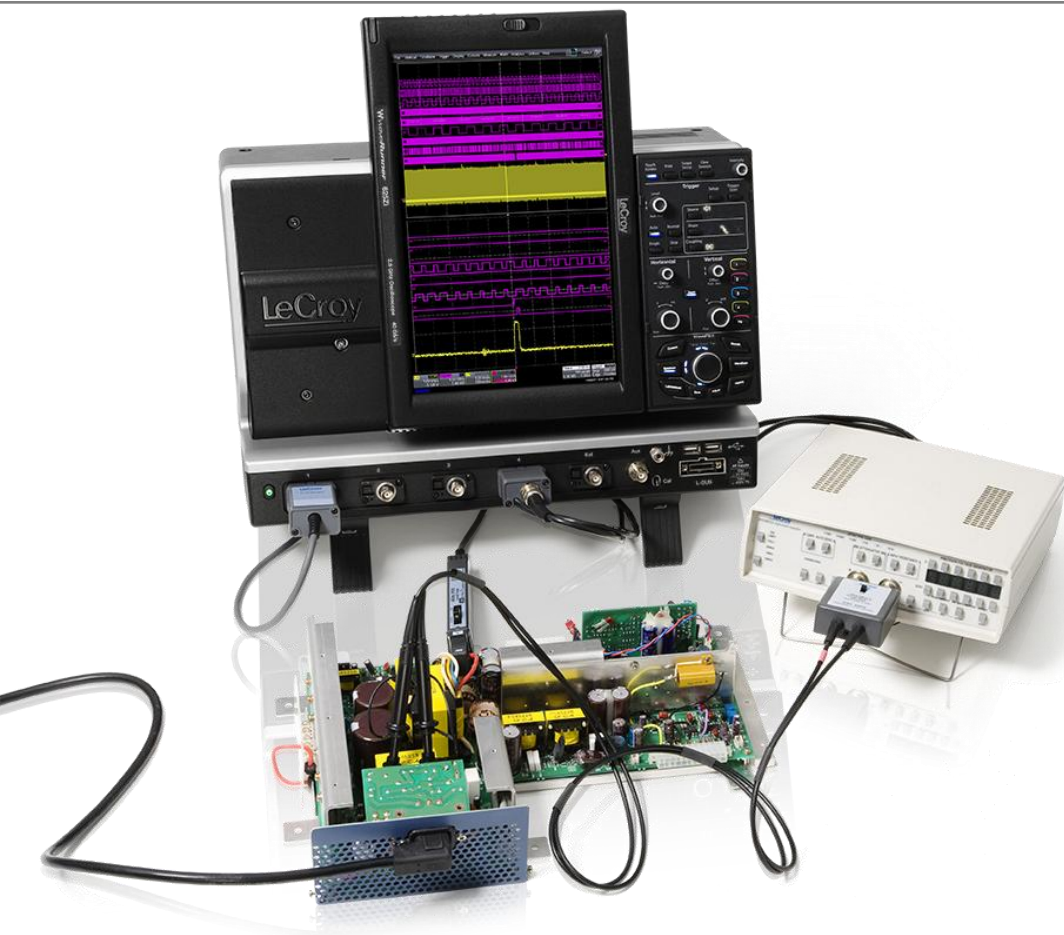
✓ 8 Bit Scope



✓ 12 Bit Scope

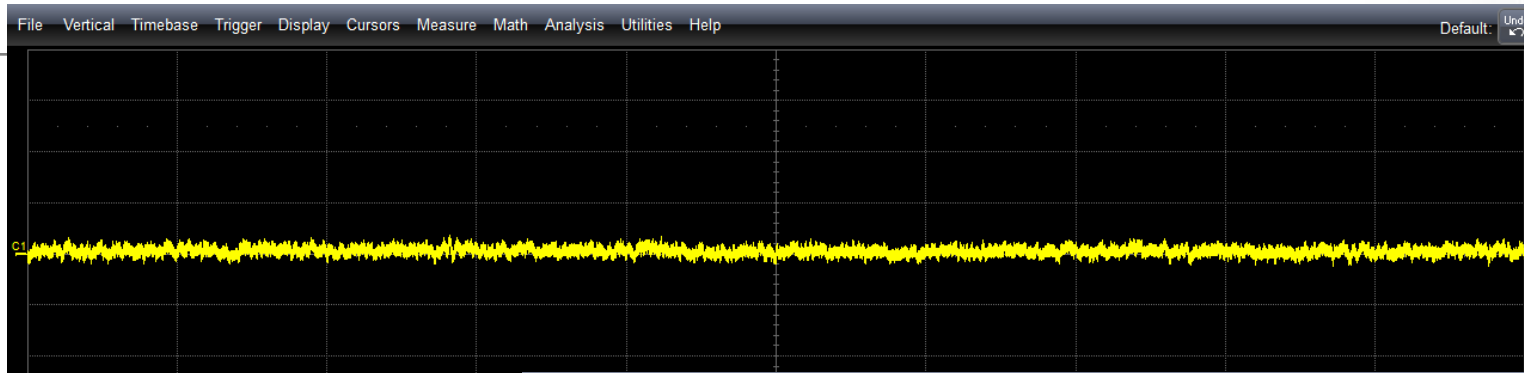
- 使用8位ADC的示波器和12位ADC的示波器测量一个五次振荡波的峰峰值，不同的ADC显示出不同的测量值
- 虽然8位示波器和12位示波器都能够显示出波形的振荡情况，但是从测量结果来看，两者有非常明显的偏差。
- 8位示波器和12位示波器测量得到的五次振荡波的峰峰值
 - 8 bit = 165 mV
 - 12 bit = 134 mV

WaveRunner HRO 6Zi: 12位ADC实时示波器, 世界唯一

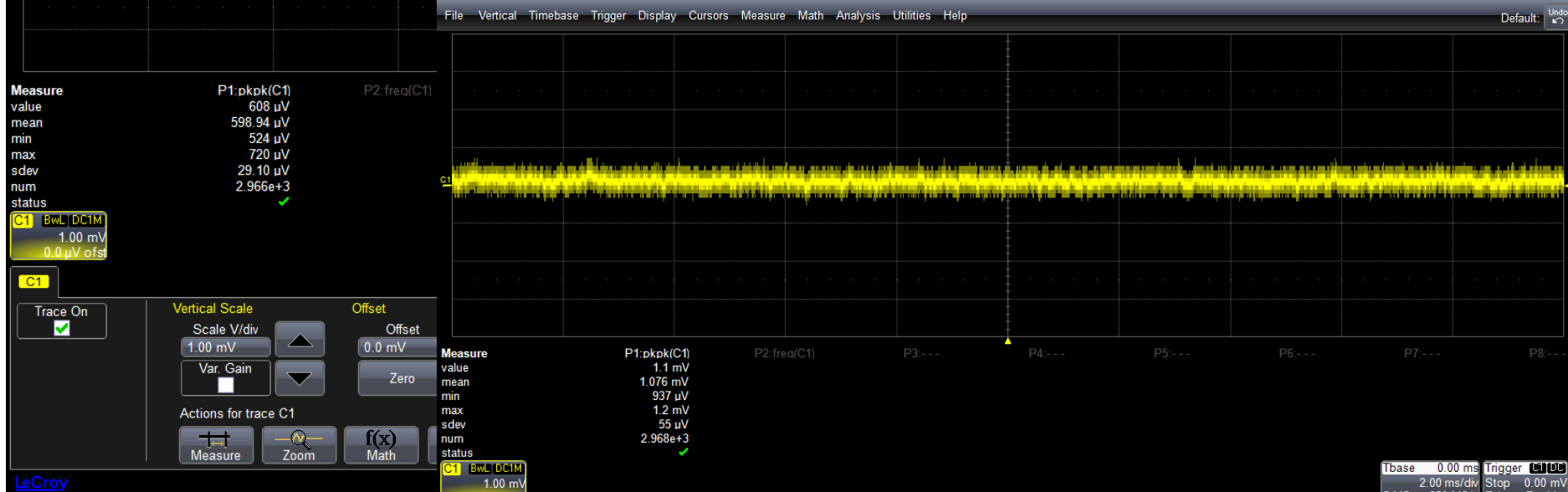


Model	LeCroy	LeCroy
	WaveRunner HRO 64Zi	WaveRunner HRO 66Zi
Bandwidth	400 MHz	600 MHz
Channels	4	4
Resolution	12	12
Sample Rate (All Ch)	2 GS/s	2 GS/s
Max Sample Rate	2 GS/s	2 GS/s
Standard Memory (per ch)	64 Mpts/ch	64 Mpts/ch
Max Optional Memory (per ch)	256 Mpts/ch	256 Mpts/ch

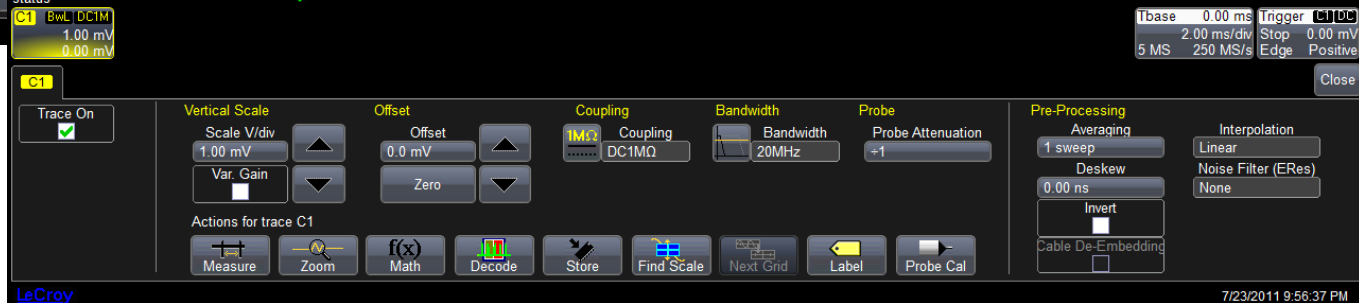
不接探头,1mv/div时,20MHz带宽限制时,底噪测量效果



12位



8位

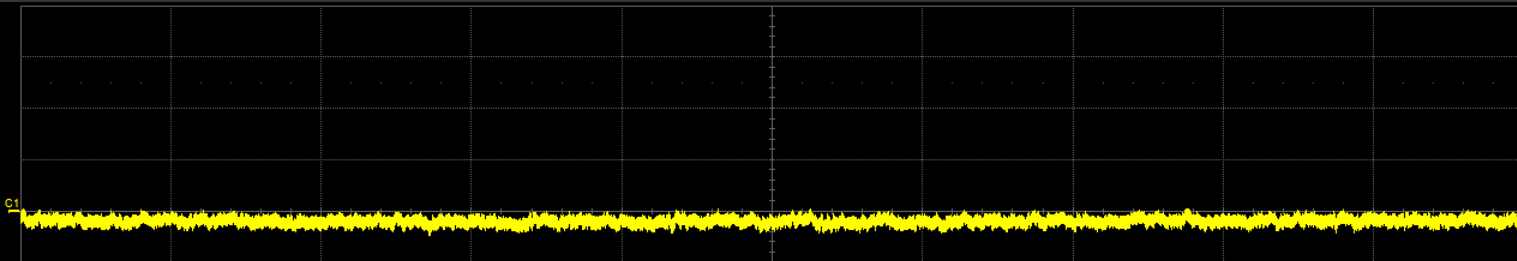


7/23/2011 9:56:37 PM

噪声测量效果

12位

File Vertical Timebase Trigger Display Cursors Measure Math Analysis Utilities Help



Measure

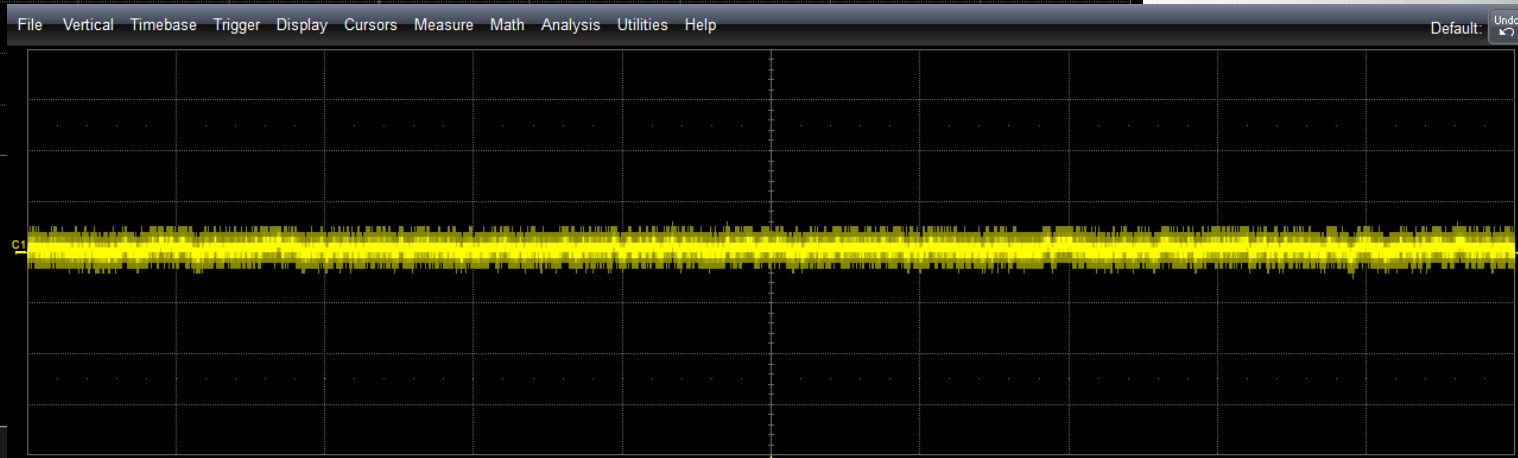
value	P1:pkpk(C1)
mean	5.12 mV
min	5.3783 mV
max	4.84 mV
sdev	5.96 mV
num	236.2 μ V
status	207

C1 BwL DCIM
10.0 mV
0 μ V offset

Trace On

Vertical Scale
Scale V/div 10.0 mV
Var. Gain

Actions for trace C1
Measure Zoom



Measure

value	P1:pkpk(C1)
mean	10 mV
min	10.16 mV
max	9 mV
sdev	11 mV
num	617 μ V
status	206

C1 BwL DCIM
10.0 mV
0.0 mV ofs

Trace On

Vertical Scale
Scale V/div 10.0 mV
Var. Gain

Offset 0 mV
Zero

Coupling 1M Ω DC1M Ω

Bandwidth 20MHz

Probe +10

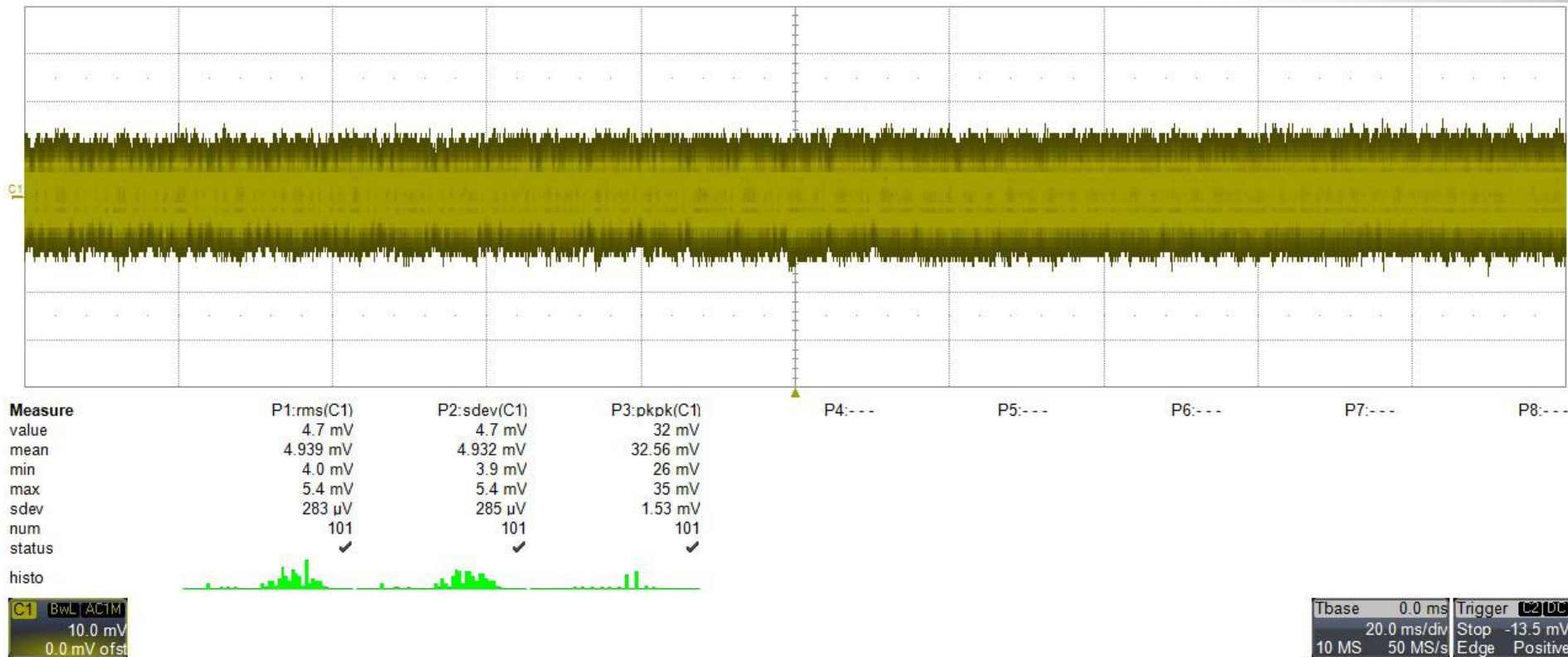
Pre-Processing
Averaging 1 sweep
Deskew 0.00 ns
Interpolation Linear
Noise Filter (ERes) None

Actions for trace C1
Measure Zoom Math Decode Store Find Scale Next Grd Label Probe Cal

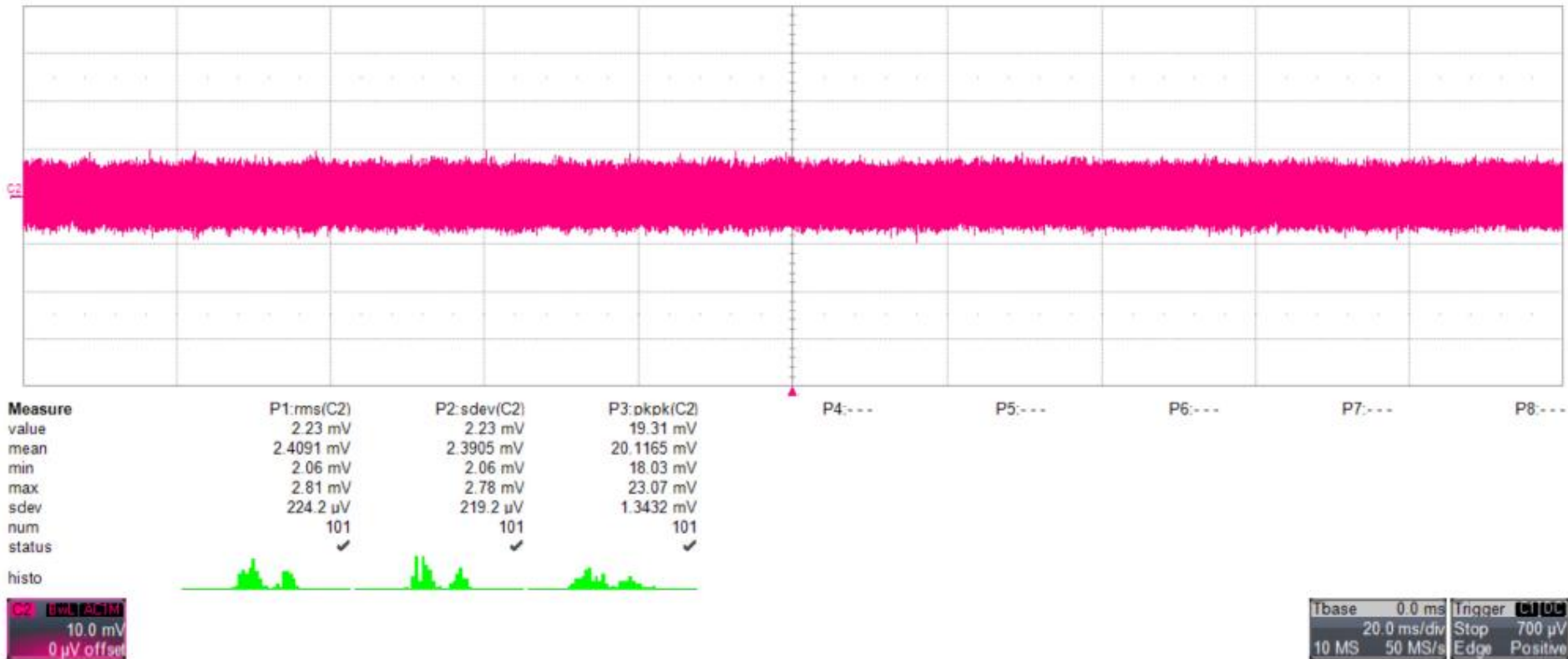
Tbase 0.00 ms Trigger C1 DC
2.00 ms/div Stop 0.0 mV
5 MS 250 MS/s Edge Positive

8位

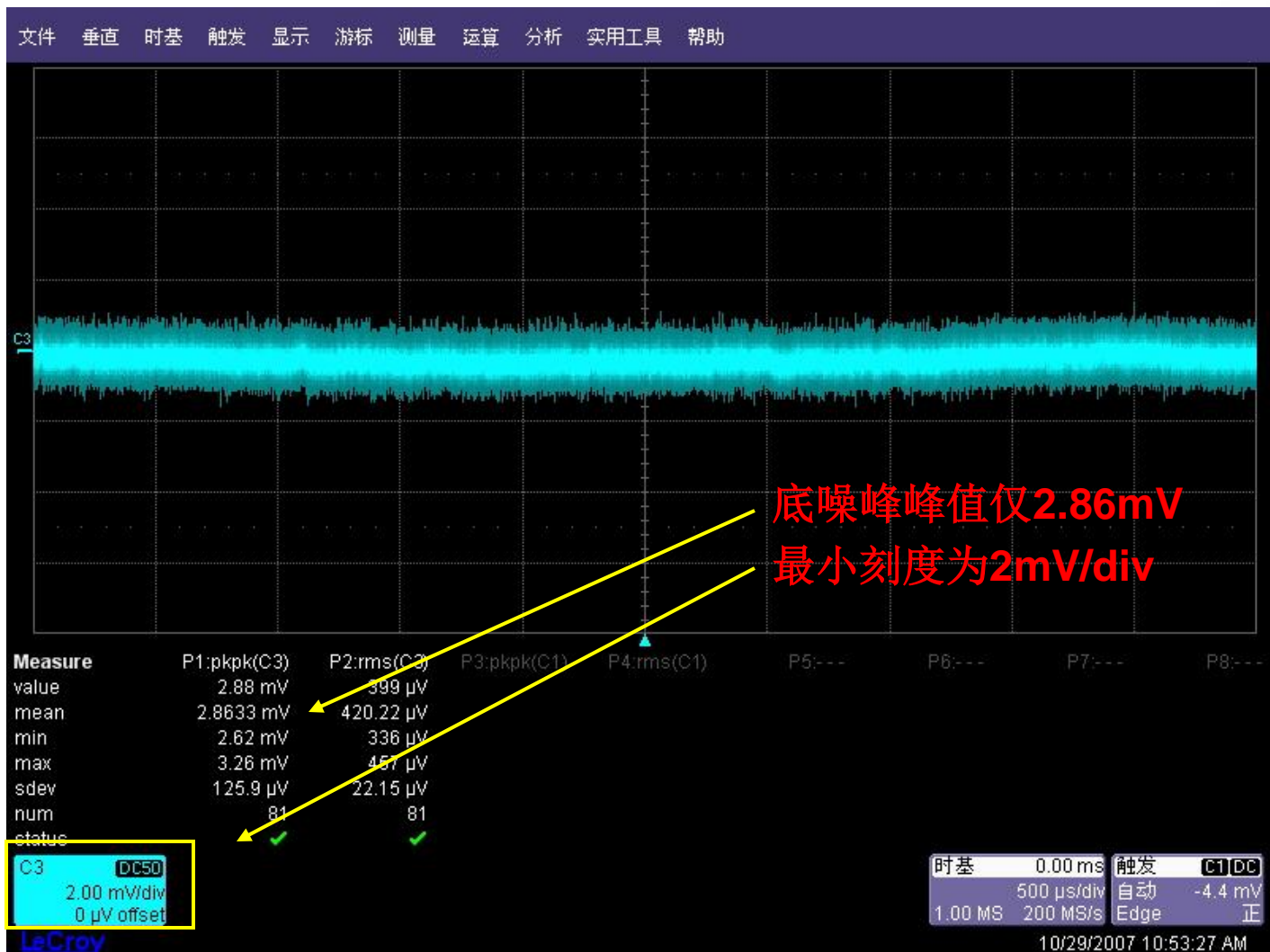
8位ADC示波器测量1.7V电源纹波效果



12位ADC示波器测量1.7V电源纹波效果



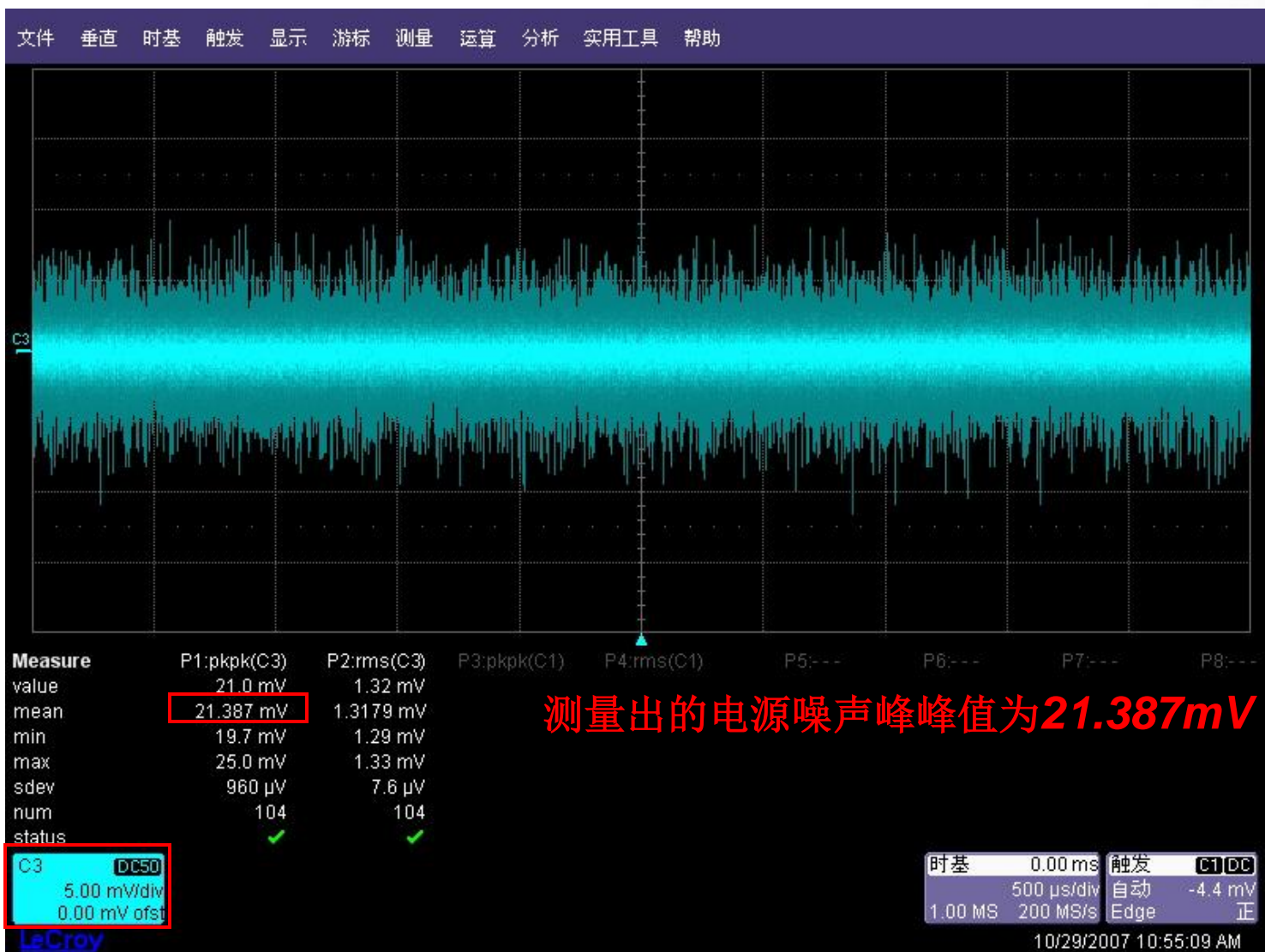
使用1:1传输线探头的底噪



使用1:1传输线探头的底噪（20M低通滤波）



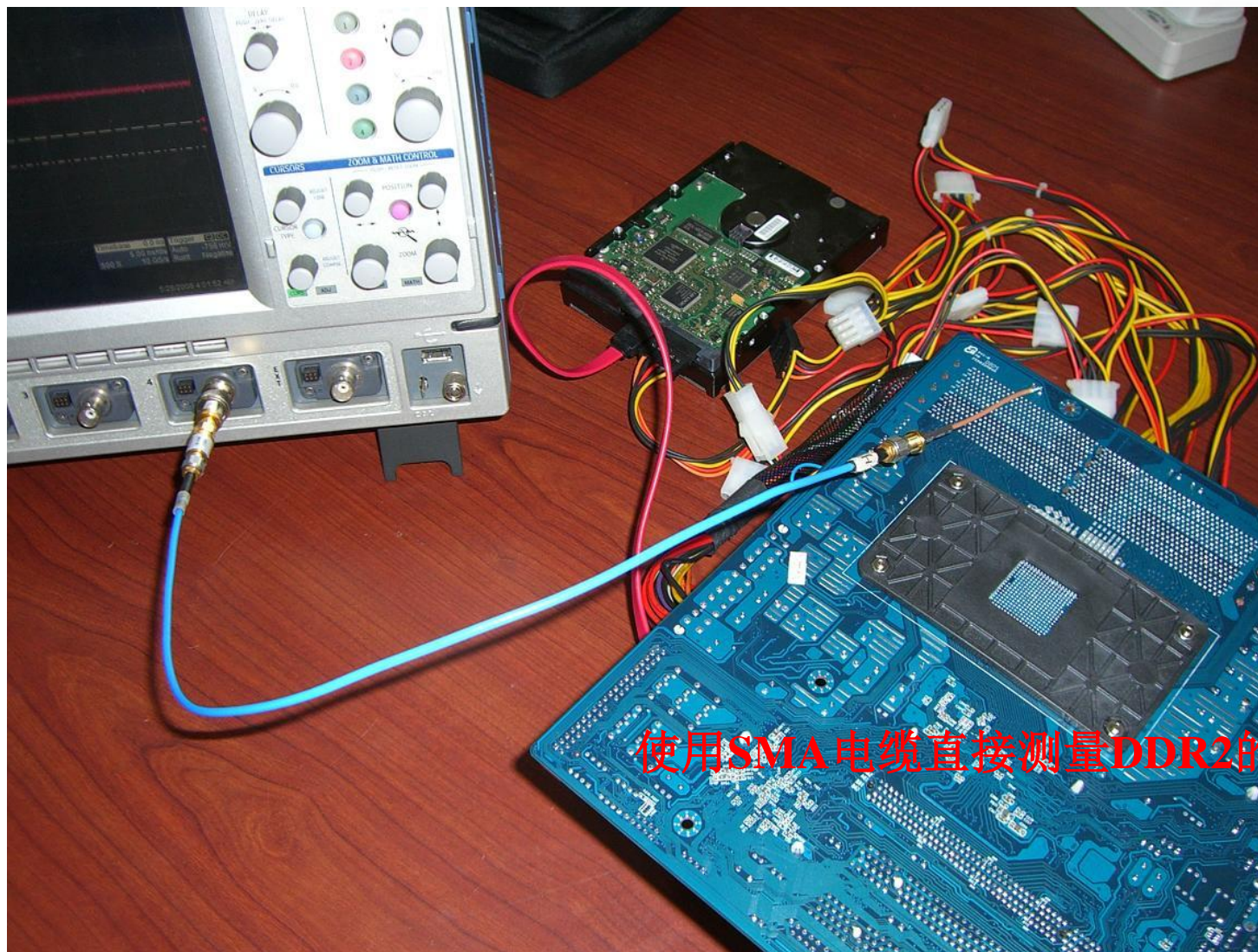
使用1:1传输线探头测量1.8V电源



使用1:1传输线探头测量1.8V电源



使用**SMA**电缆直接测量



使用**SMA**电缆直接测量**DDR2**的电源噪声

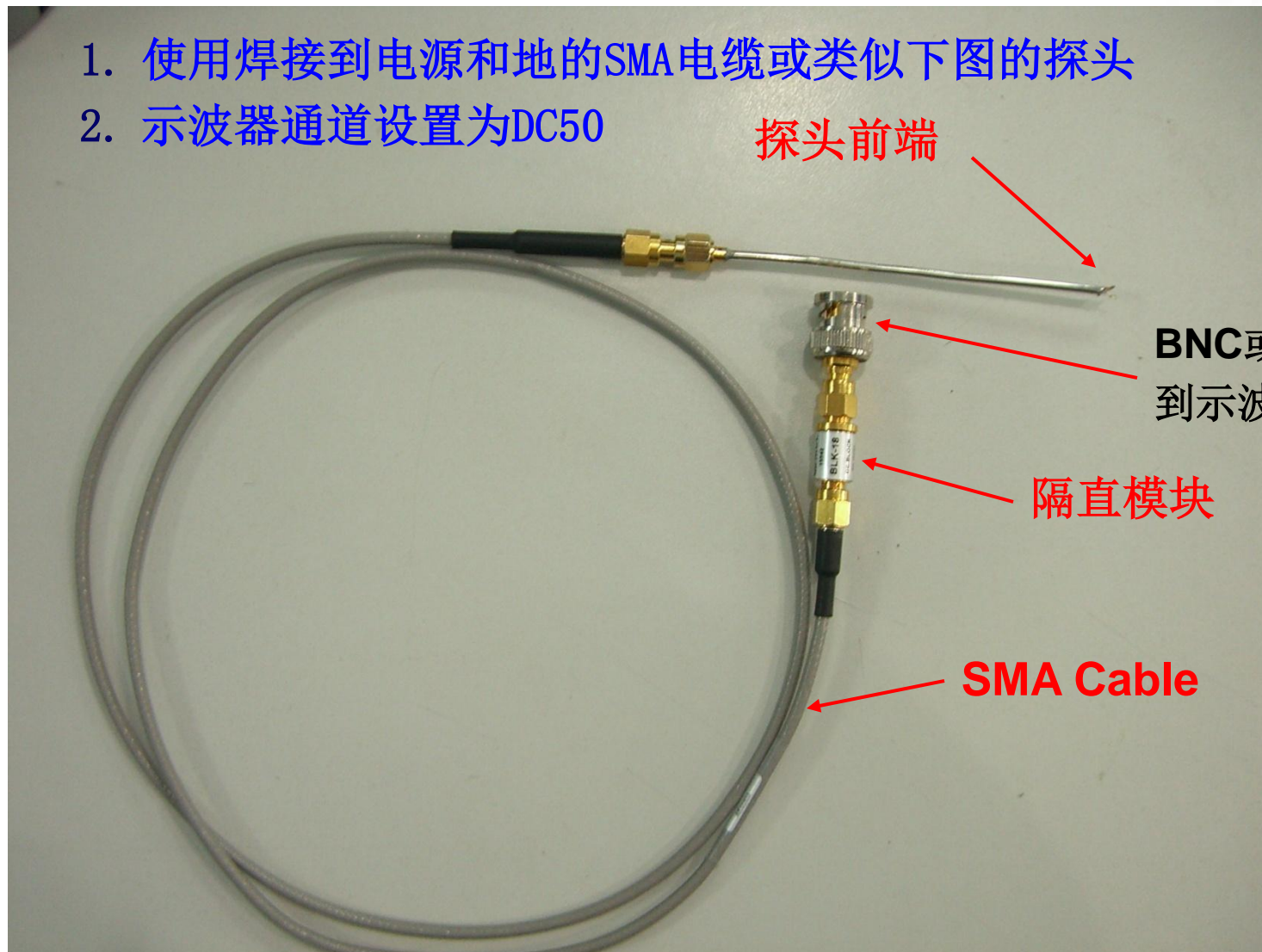
使用**SMA**电缆直接测量



SMA 电缆直接焊接到1.8V的电源和地上

测量小电压噪声的推荐方案

1. 使用焊接到电源和地的SMA电缆或类似下图的探头
2. 示波器通道设置为DC50



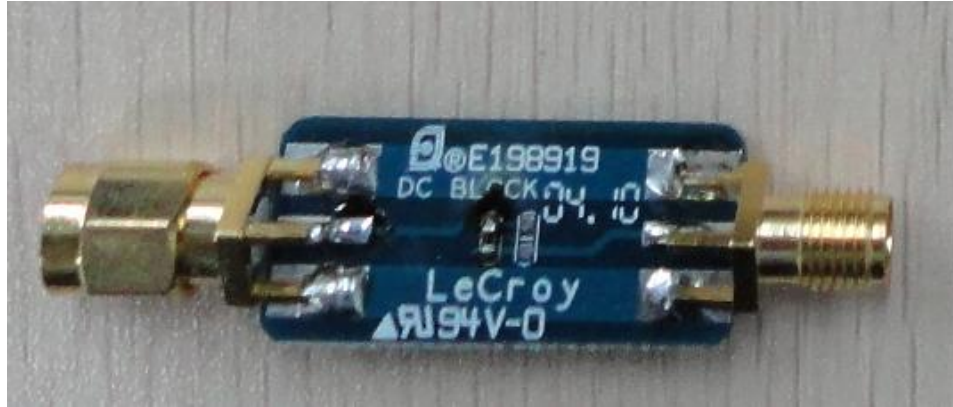
探头前端

BNC或SMA连接
到示波器通道输入

隔直模块

SMA Cable

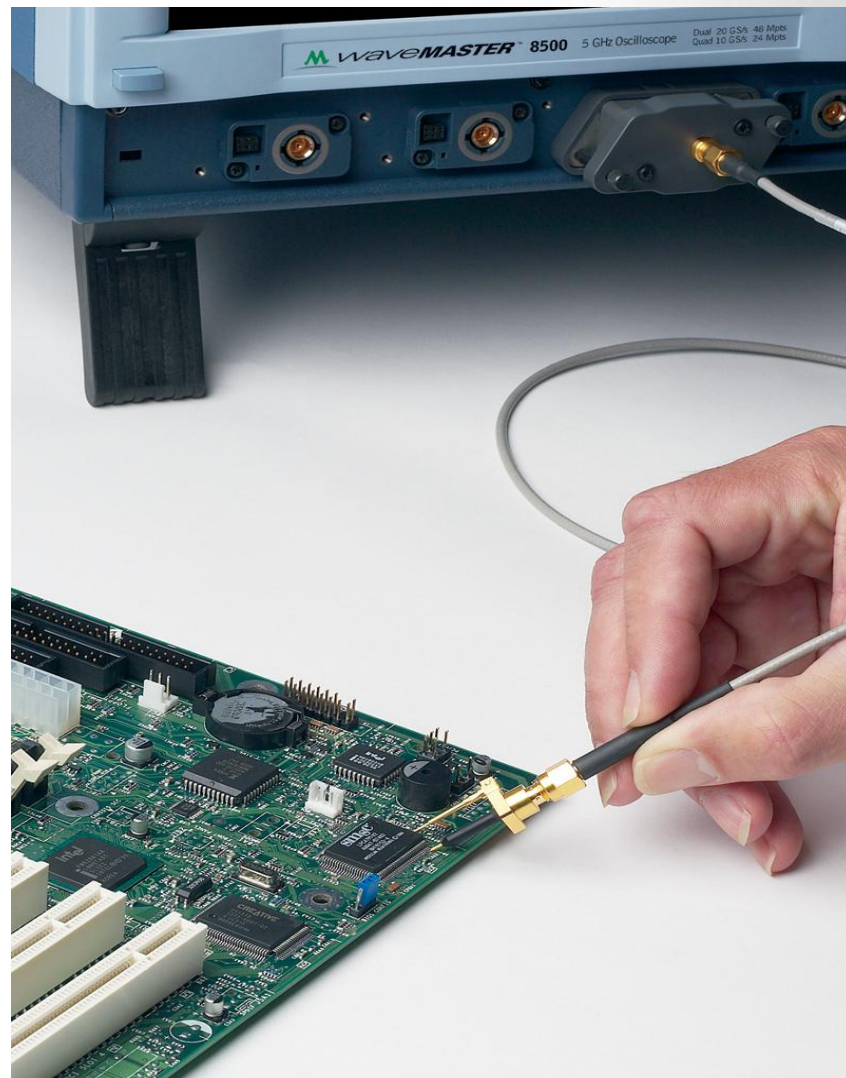
隔直电容模块



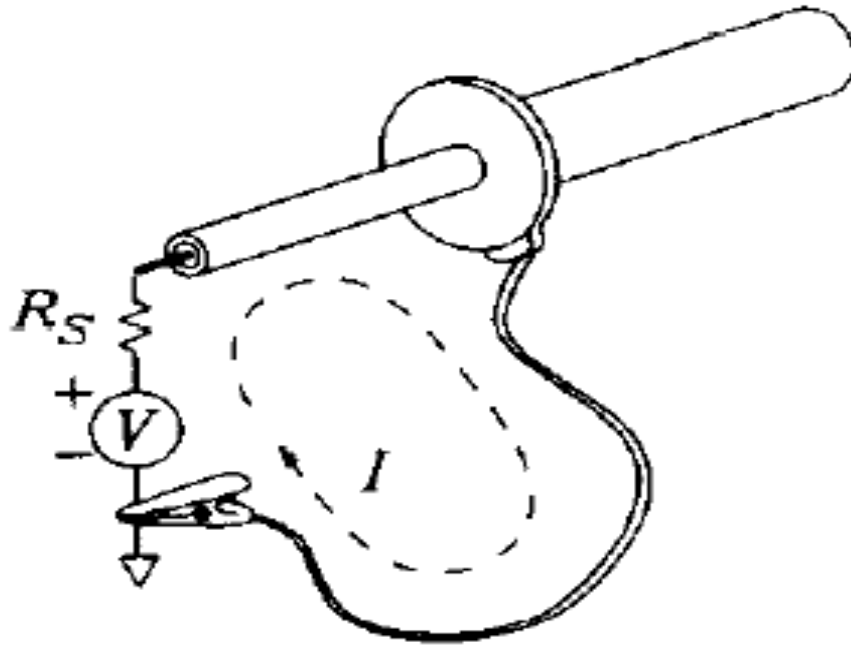
电源噪声测量夹具

PP066无源传输线探头

- 单端探头，7.5 GHz 带宽.
- 非常平坦的输入阻抗频响
- 可以提供20/10/1倍衰减的探针
- 接地针可灵活调节，地与信号探针的间距可以调节
- 输入电容小于0.25pf
- 可用于高低频电源噪声的测量



减少探头的环路，尽量缩短地线



探头上的信号电流回路

谢谢大家!