



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

ADI GIS/Transformer/ Online Monitor System Solution



Agenda

- ▶ PD Introduction
 - What is PD (Partial Discharge)
 - PD type & detection methods
 - PD signal characteristics analysis

- ▶ ADI signal chain proposal and test results
 - Vibration Detection Signal Chain
 - Ultrasound Detection Signal Chain
 - HF Detection Signal Chain
 - UHF Detection Signal Chain
 - GIS & GIS PD Characteristics
 - Real GIS PD signal test result

What is PD

PD (Partial Discharge)：由于电气设备内部绝缘存在弱点，在一定外施电压下发生的局部的重复击穿和熄灭现象。

局部放电的危害：局部放电产生的一些不良效应，如不良化合物的产生，会慢慢的损坏绝缘，最后可导致整个绝缘被击穿，发生突发性故障。

局部放电的特点：当介质内部发生局部放电时，伴随着发生许多现象。有些属于电的，如**电脉冲**的产生，介质损耗的增大和**电磁波辐射**；有些属于非电的，如**光**，**震动**，**噪音**，气体压力的变化和化学变化。

▶ 1、内部放电

- ▶ 造成**内部局部放电**的常见原因是**固体绝缘体内部存在气隙或液体绝缘内部存在气泡**。绝缘内部气隙发生放电的机理随气压和电极系统的变化而异，从放电过程而论，可分为电子碰撞电离放电和流注放电两类；在放电形式上可分为脉冲型（火花型）放电和非脉冲型（辉光型）放电两种基本形式。一般情况下，**局部放电都属于脉冲型放电**，可以在外加工频电压的一定相位上观察到单个分离的放电脉冲。在理论上，内部放电的放电图形在工频正、负半波是对称的，但由于气隙或气泡周围绝缘材料的绝缘电阻并非理想情况下的无穷大，同时由于在放电中可能发生沿气隙或气泡壁表面放电等原因，实际的正、负工频周期放电图形是不完全对称的，而且与电极系统的形式有很大的关系：电极系统结构越对称，正、负工频周期放电图形就越对称。

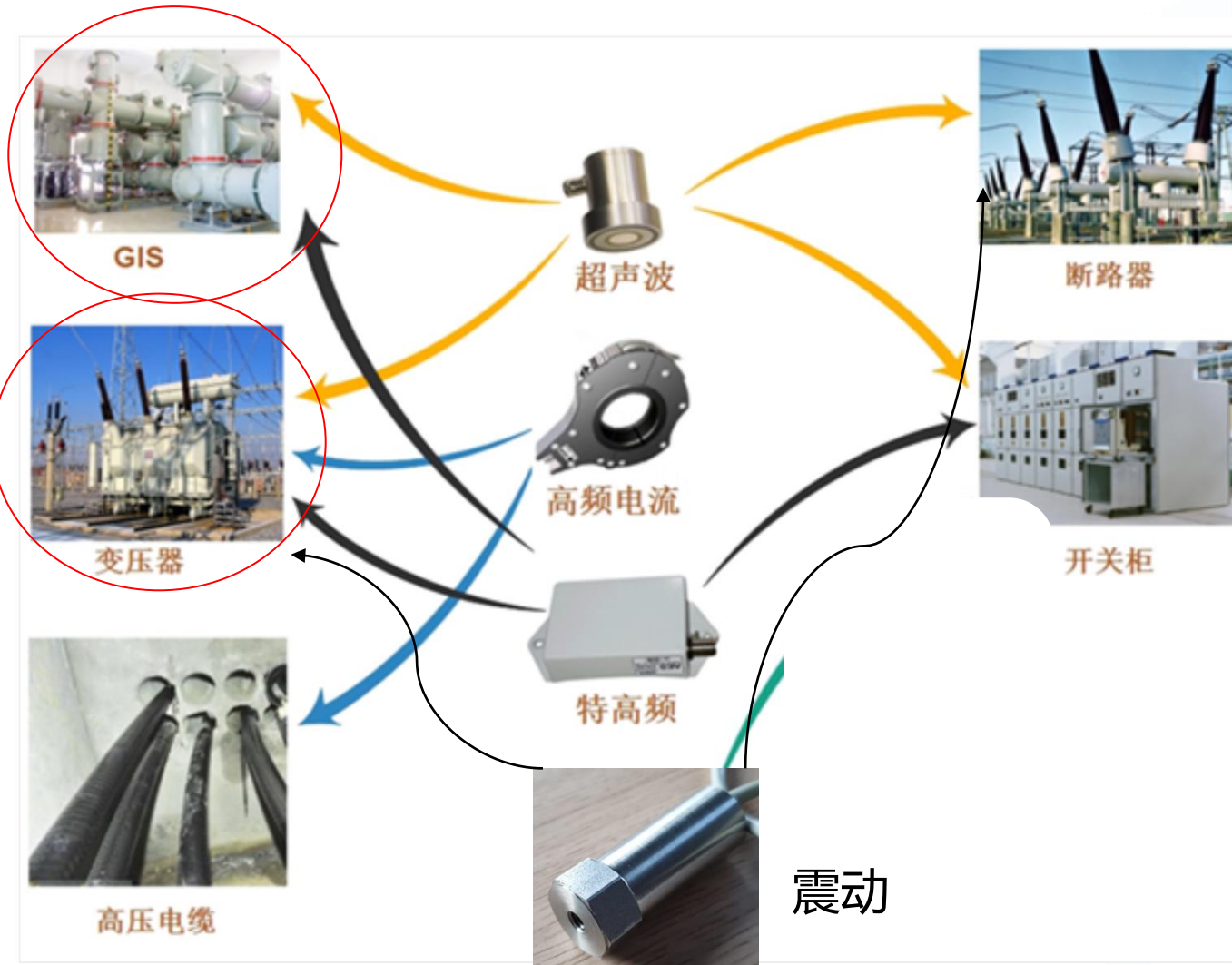
▶ 2、表面放电

- ▶ 在电气设备的高电压端，由于电场集中，沿面放电场强又比较低，往往会产生表面局部放电；**绝缘体表面放电**的过程及机理与绝缘内部气隙或气泡放电的过程及机理相似，不同的是**放电空间一端是绝缘介质，另一端是电极**。如果电极系统是不对称的，发生在工频正、负半波的放电图形也是不对称的。当放电的一端是高压电极，不放电的电极接地时，正半周放电量大而次数少，负半周放电次数多而放电量小。如果电极系统相反，则放电图形也相反。

▶ 3、电晕放电

- ▶ **电晕放电通常发生在高压导体周围完全是气体的情况下**。由于气体中的分子自由移动，放电产生的带电质点不会固定在空间某一位置上。对于针-板电极系统，针尖附近场强最高而发生放电，由于负极性时容易发射电子，同时正离子撞击阴极发生二次电子发射，使得放电在负极性时最先出现。当外加电压较低时，电晕放电脉冲出现在外加电压负半周90°相位附近，并几乎对称于90°；当电压升高时，正半周会出现少量幅值大而数量少的放电脉冲。

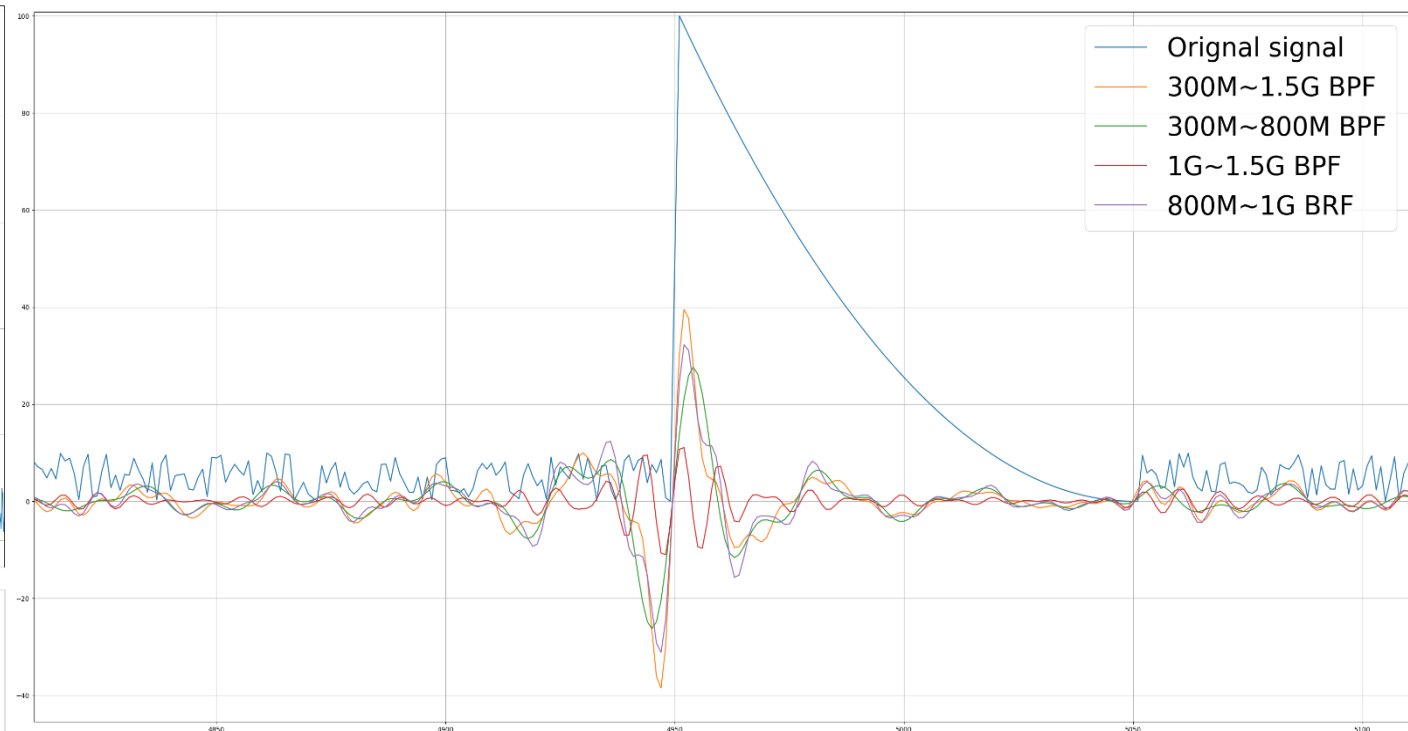
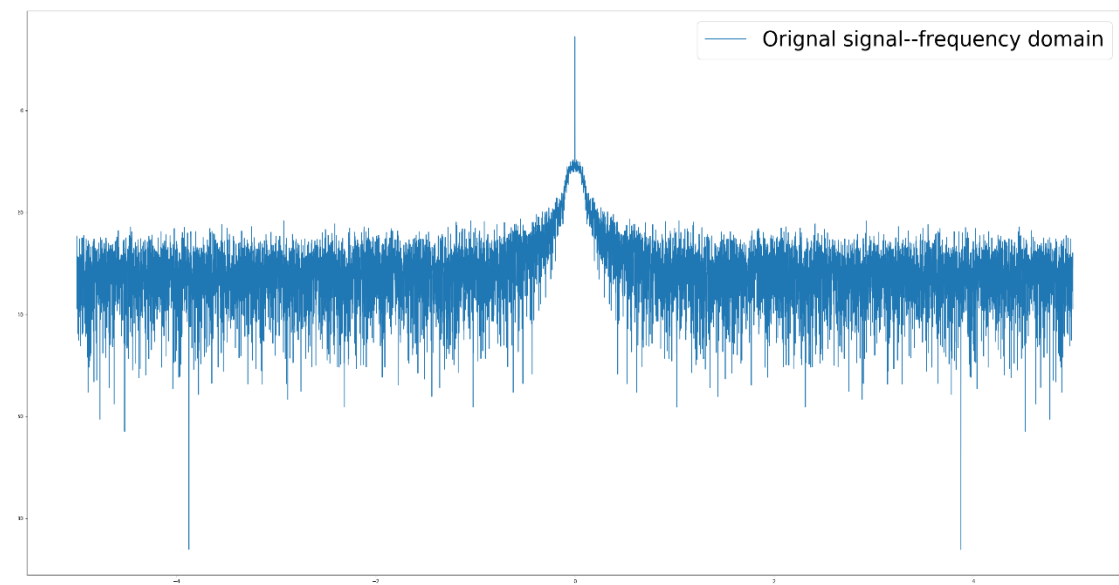
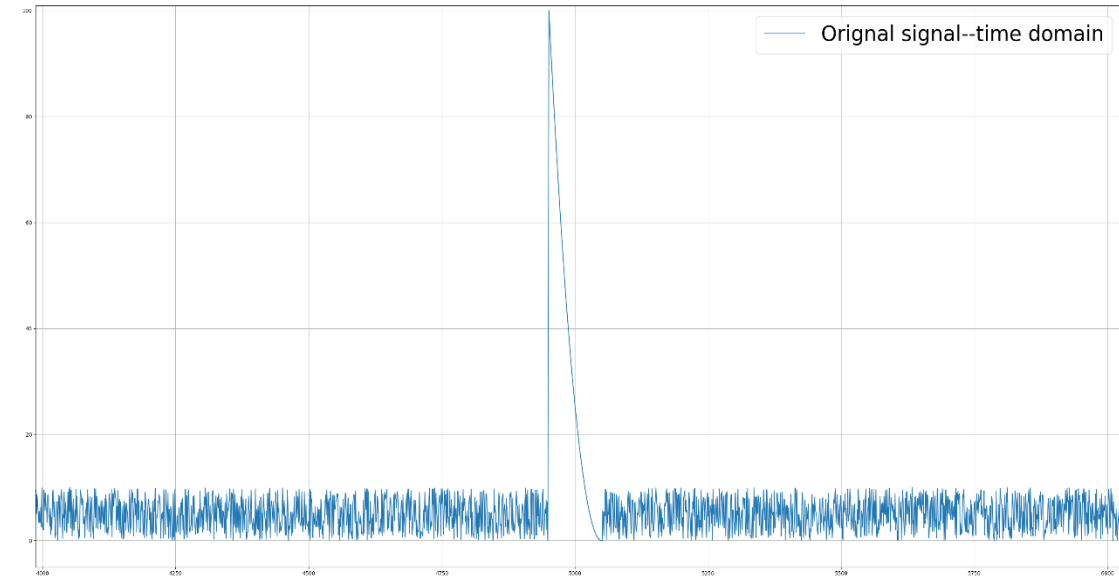
PD detection methods



测量方法	频段
震动	LF-20kHz
超声波	20kHz – 300kHz
HF 高频	0.3MHz-30MHz
UHF 特高频	300MHz-1500MHz

- ▶ **震动检测法：**采用加速度传感器检测GIS内部由于金属微粒撞击金属外壳及金属微粒发生放电引起的**金属外壳的振动**，具有检测回路设计相对比较简单、定位准确、运行稳定、检测数据准确和低成本的特点，具有良好在线监测应用前景。
- ▶ **超声检测法：**利用超声波检测的方法进行局部放电检测，是现在预防性维修保养领域的方法之一。由于超声法受电气干扰小以及它在局部放电定位上的**广泛应用**，人们对超声法的研究较为深入。**通过听声音来判断局放所产生的位置以及距离**，实现电气局放的监测。
- ▶ **化学检测法：**当变压器中发生局部放电时，各种绝缘材料会发生分解破坏，产生新的生成物，通过**检测生成物的组成和浓度**，**可以判断局部放电的状态**。目前，该方法已广泛应用于变压器的在线故障诊断中。故障类型不同，故障程度也不同，气体的组成和浓度也不相同，由此建立起来的模式识别系统可实现故障的自动识别。但直到目前，仍然没有形成统一的判断标准。因为它对发现早期潜伏性故障较灵敏，但不能反映突发性故障。
- ▶ **高频电流检测法：**当电缆内部发生局放时，**高频电流会沿着接地线向大地传播**，通过在地线上安装**HFCT检测高频电流**信号实现局放检测。HFCT使用罗果夫斯基线圈方式，在环状磁芯材料上围绕多圈导电线圈，高频电流穿过磁芯中心而引起的高频交变电磁场会在线圈上产生感应电压。HFCT传感器的测量回路与被测电流之间没有电气联接，属于非侵入式检测法，被测设备不需要停运。
- ▶ **超高频局部放电检测：**由于传统检测方法存在不足，继而出现了**新的检测方法—超高频检测**。变压器局部放电所产生的超高频(300-3000MHZ)电信号实现了电力变压器局部绝缘放电的检测和定位，并实现了抗干扰。

Filtered PD signal characteristics analysis



Rise time: 300 ps Fall time: 10 ns

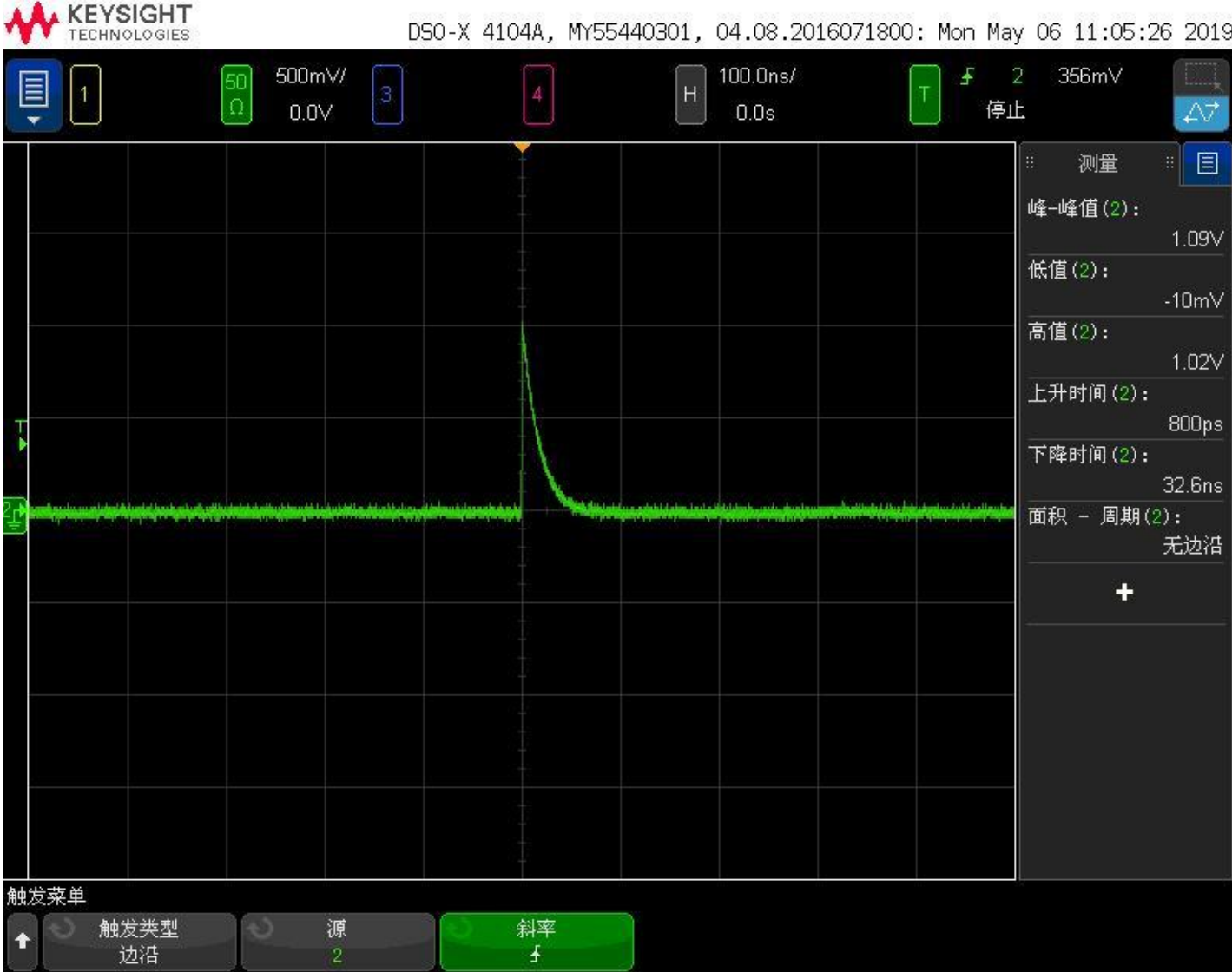
Sample rate: 10 gbps Sampling time: 1 us

National Grid requirement is as below:

7.1 标准局部放电信号发生器

发生器能产生模拟局部放电脉冲信号，脉冲上升沿小于300ps，脉冲宽度可调（10ns~500ns），峰值电压可调（不小于50V），脉冲频率可调（不小于50Hz）。

PD signal In Lab



GIS UHF online PD monitor system requirement

ICS 中国南方电网有限责任公司企业标准
备案号: Q/CSG
P

中国南方电网
CHINA SOUTHERN POWER GRID



ICS 29.240
Q/GDW
国家电网公司企业标准
Q/GDW 11282—2014

气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)局部放电特高频检测技术规范

广东电网公司 GIS 特高频局部放电在线监测装置质量考评方案

气体绝缘金属封闭开关设备特高频局部放电传感器现场检验规范

On-site inspection specification for partial discharge UHF coupler of gas insulated metal-enclosed switchgear

CHINA SOUTHERN POWER GRID

2010年12月20日发布 2010年12月20日实施
中国南方电网有限责任公司 发布

广东电网有限责任公司生产技术部
广东电网有限责任公司电力科学研究院
2018年9月

2015-02-06发布 2015-02-06实施
国家电网公司 发布

5.2 性能要求

5.2.1 检测频带

检测频带应尽量覆盖 GIS 内部可能发生的各类局部放电信号的频率范围, 通常在 300MHz 到 3GHz 之间, 实际检测装置中可根据需要选用其间的子频段。检测频带的选择应尽量避开电磁干扰信号, 如架空线电晕放电和移动通讯等。

5.2.2 灵敏度

检测装置最小可测量电量不小于 10pC 的放电信号, 最大可测量电量不大于 3000pC 的放电信号, 在量程范围内检测结果应能有效反映局部放电强度的变化。

监测性能

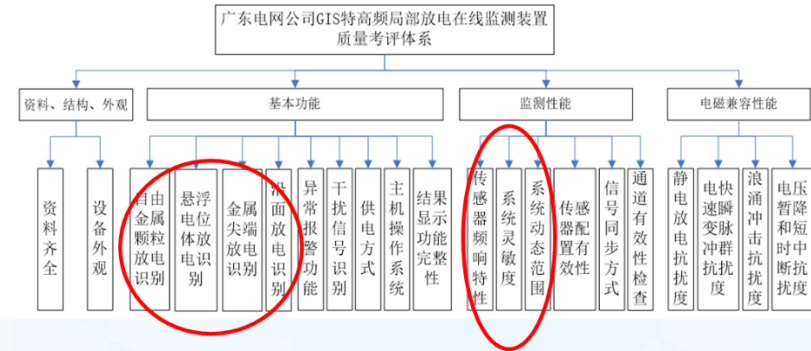
系统灵敏度检测	在测试环境背景噪声水平下, 监测装置(含传感器)在 GTEM 小室中检测 7V/m (或 17dBV/m) 的瞬态电场强度峰值时的信噪比不应低于 2 倍 (或 6dB)。	最小值: 20 分; 7V/m: 0 分; 中间值按比例取分。
系统动态范围检测	监测装置的动态测量范围不应小于 40dB, 在动态范围内检测结果应能有效反映局部放电强度的变化。	/

C.2 检验方法

用特性阻抗为 50Ω 的同轴电缆连接信号源的输出端和被测局部放电信号采集装置的输入端。将信号源输出信号幅值调至 -65dBm, 频率调至 300MHz, 记录被测局部放电信号采集装置是否有明显示值, 并记录。保持信号幅值不变, 调节频率, 从 300MHz 至 1500MHz, 间隔 100MHz 设置一个测点, 共 13 个测点, 分别记录被测局部放电信号采集装置是否有明显示值, 并记录。

C.3 检验结果

被测局部放电信号采集装置的 13 个测点结果中, 有 10 个或以上测点有明显示值的, 该装置可认定为检验合格。



Rx Sensitivity

- 75dBm(DMS).

Dynamic Range

- 40dB(DMS)
- >40dB from Guangdong Grid 2018 quality requirement on Online PD monitor
- Some customers get to 70dB.

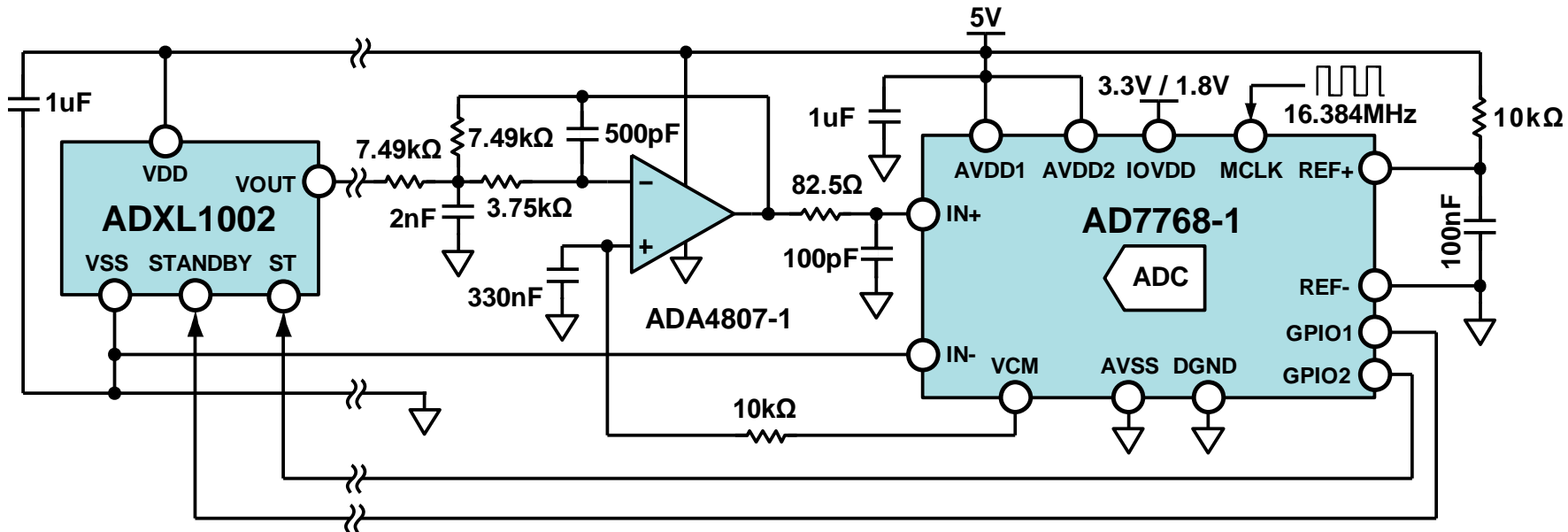
VIB/Ultrasound/HFCT PD Detection

Vibration Sensing Signal Chain (LF-20kHz)

► Single Channel Version

- Ultra-low Power
- Compact Size.
- All in One solution

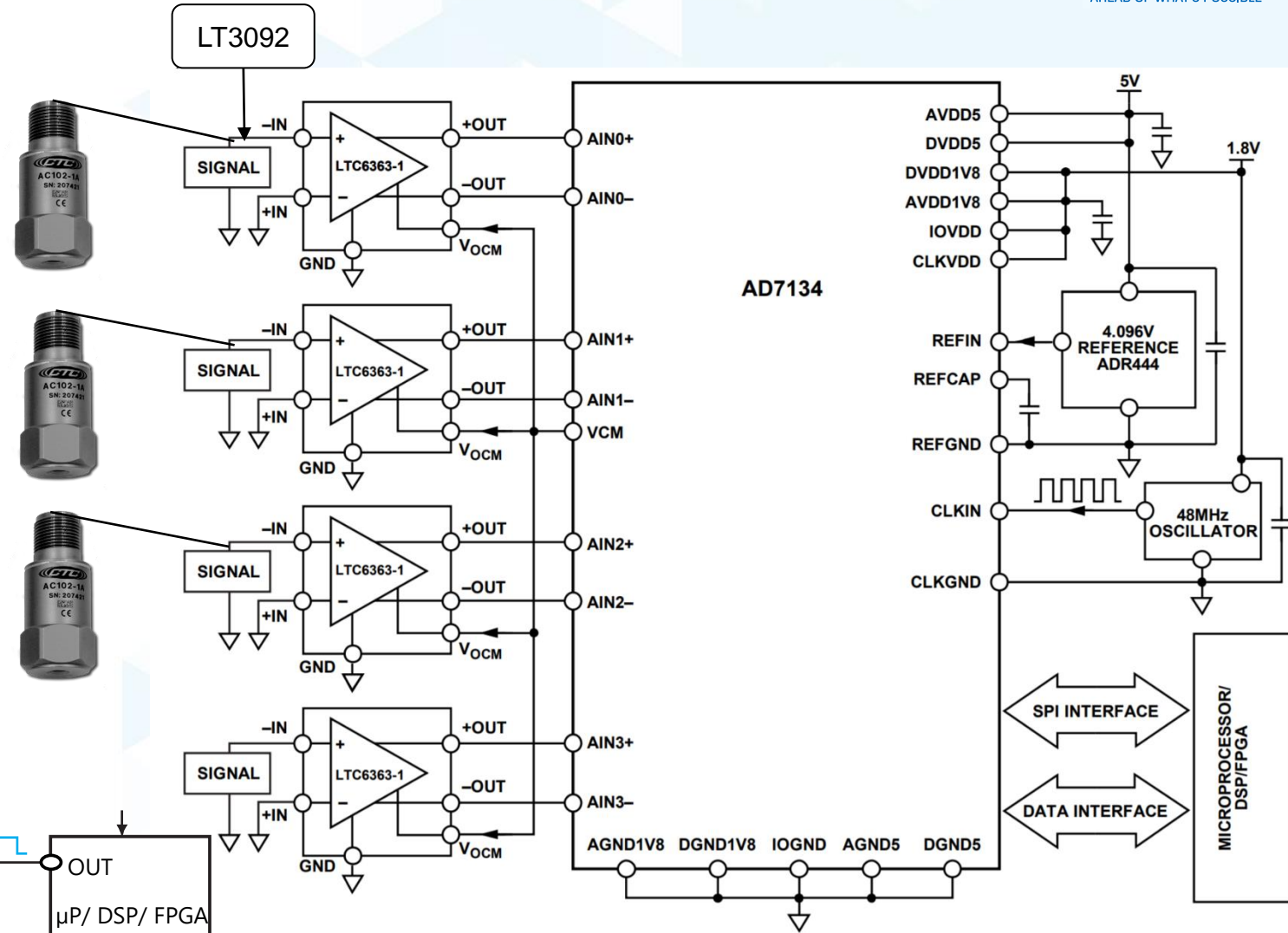
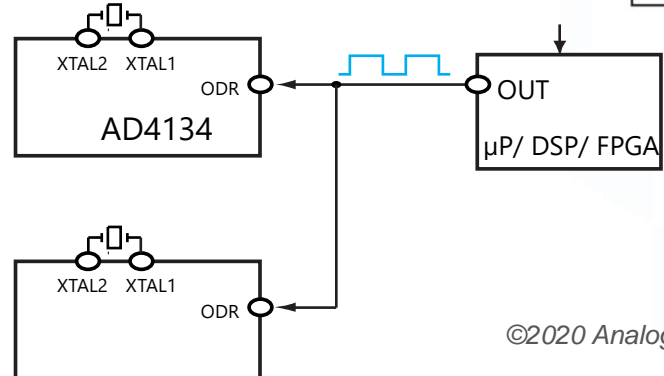
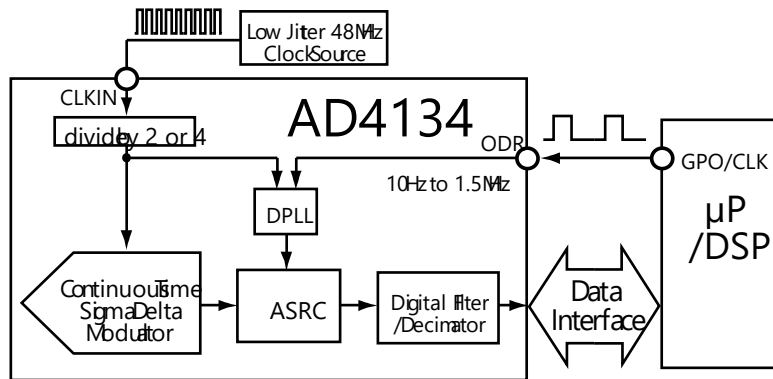
Device	Size(mm)	Power(mW)	1ku Price (\$)
ADXL1002	5x5	5	29.66
ADA4807-1	3x2	5	1.09
AD7768-1	5x4	14	5.95



Vibration Sensing Signal Chain (LF-20kHz)

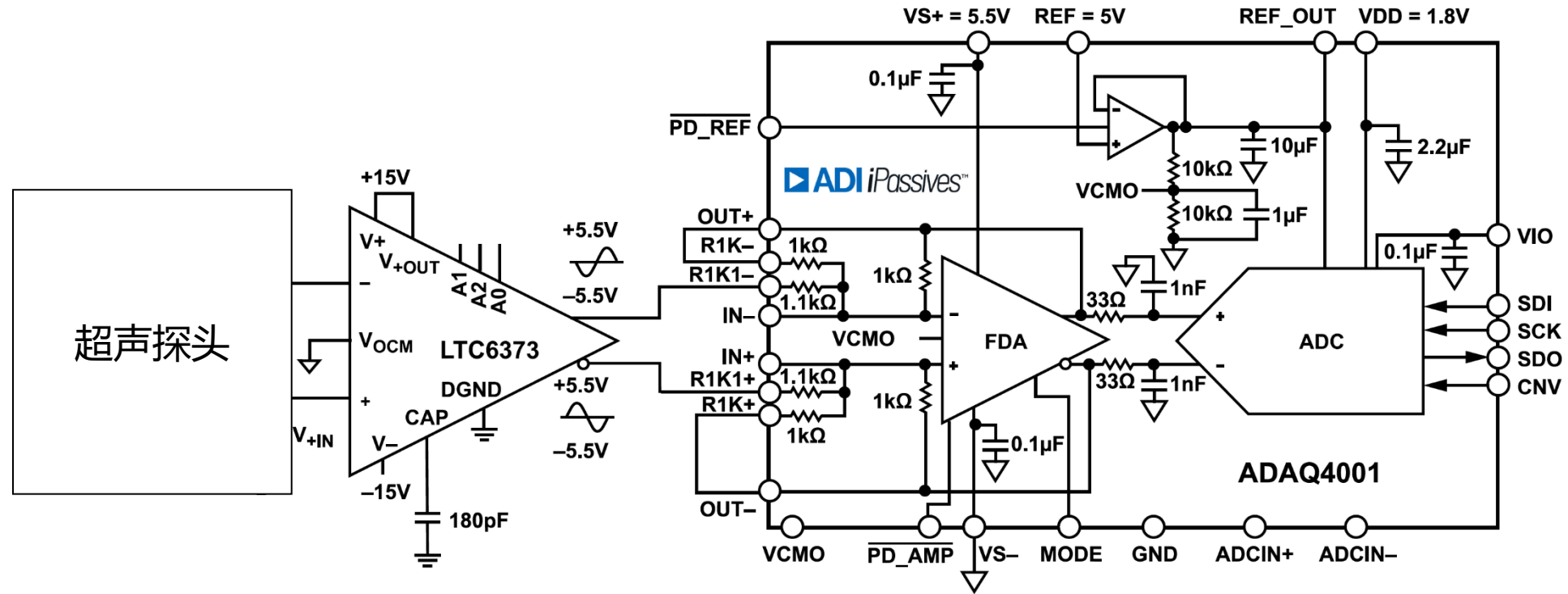
► Multi- Channel Version

- High Integration.
- 24bit Resolution.
- 10Hz- 1.5Mps Configurable ODR
- Easy Synchronized with Multi Chip.



Ultrasound Detection (20kHz- 300kHz)

▶ Single Channel Version

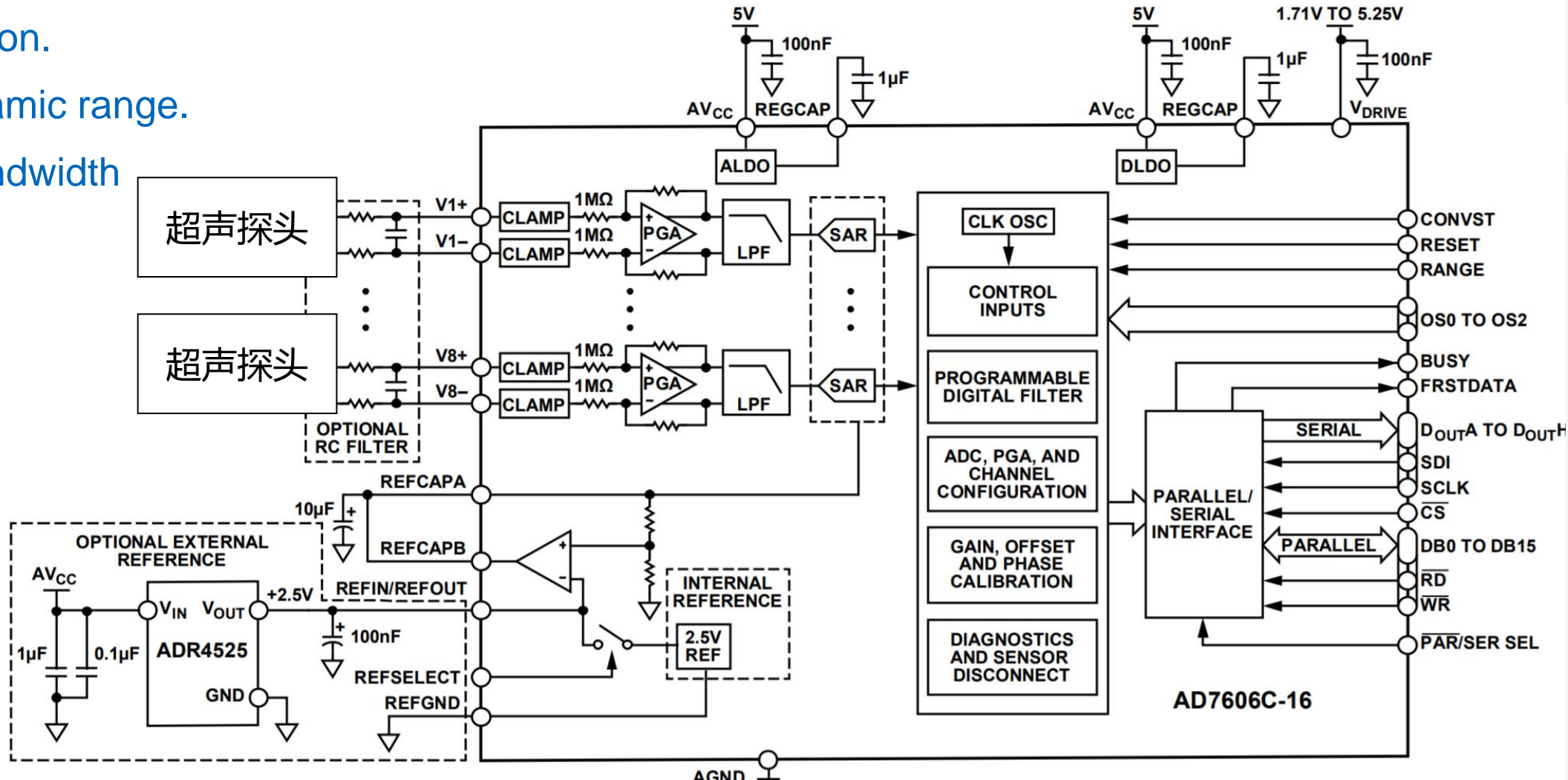


- High Integrated Solution.
- 16/18bit High Dynamic range.
- Up to 800KHz Bandwidth with external anti-alias Filter

Ultrasound Detection (20kHz- 300kHz)

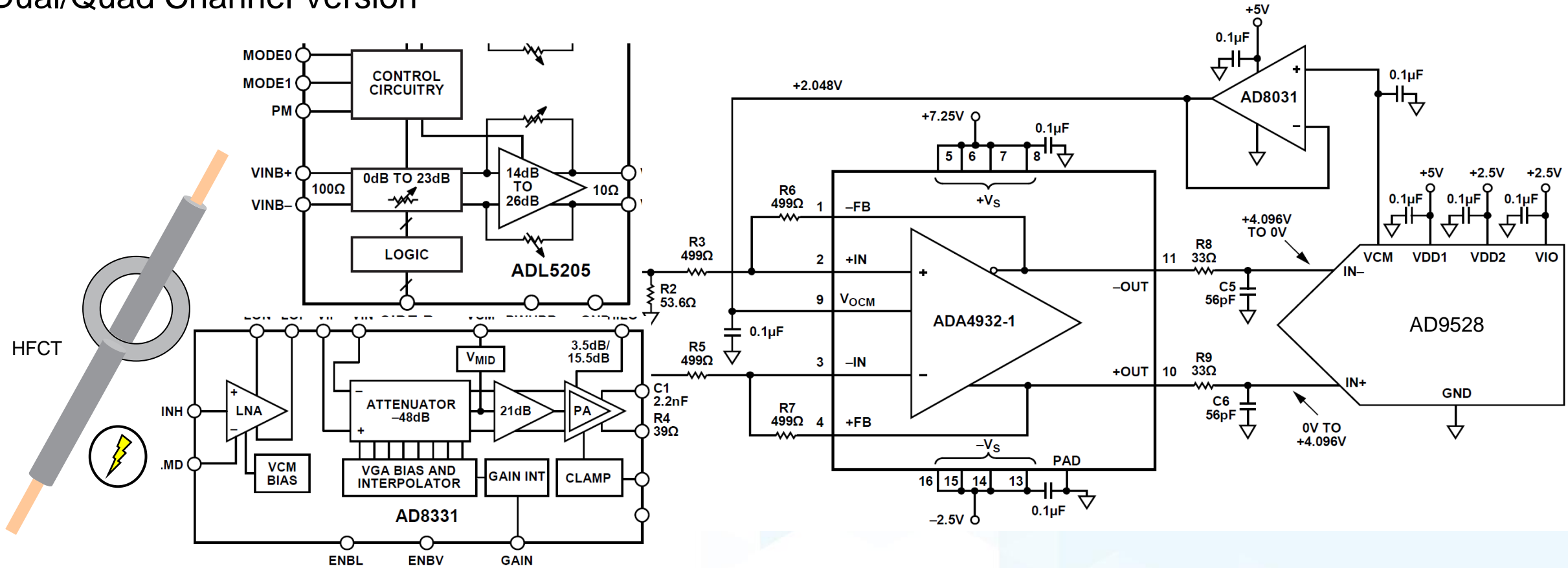
Multi - Channel Version

- High Integration.
- 16/18bit Dynamic range.
- <220KHz Bandwidth



HF Detection (300KHz-30MHz)

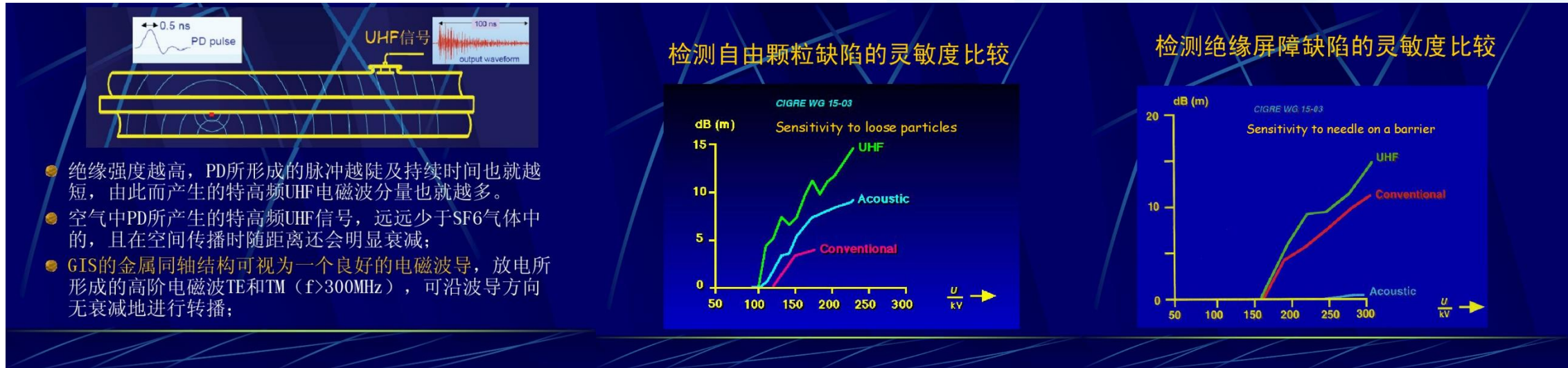
Dual/Quad Channel Version



- High SNR.
- External High HD performance over Octal Band.
- 100 MSPS ADC provides up to ± 3 meters resolution

UHF PD Detection (300MHz-1.5GHz)

- UHF PD detection: 检测300MHz~1.5GHz 特高频电磁波信号，检测范围较大，不受空气中电晕干扰影响，对各种缺陷引起的PD均敏感，检测灵敏度可达几pC.

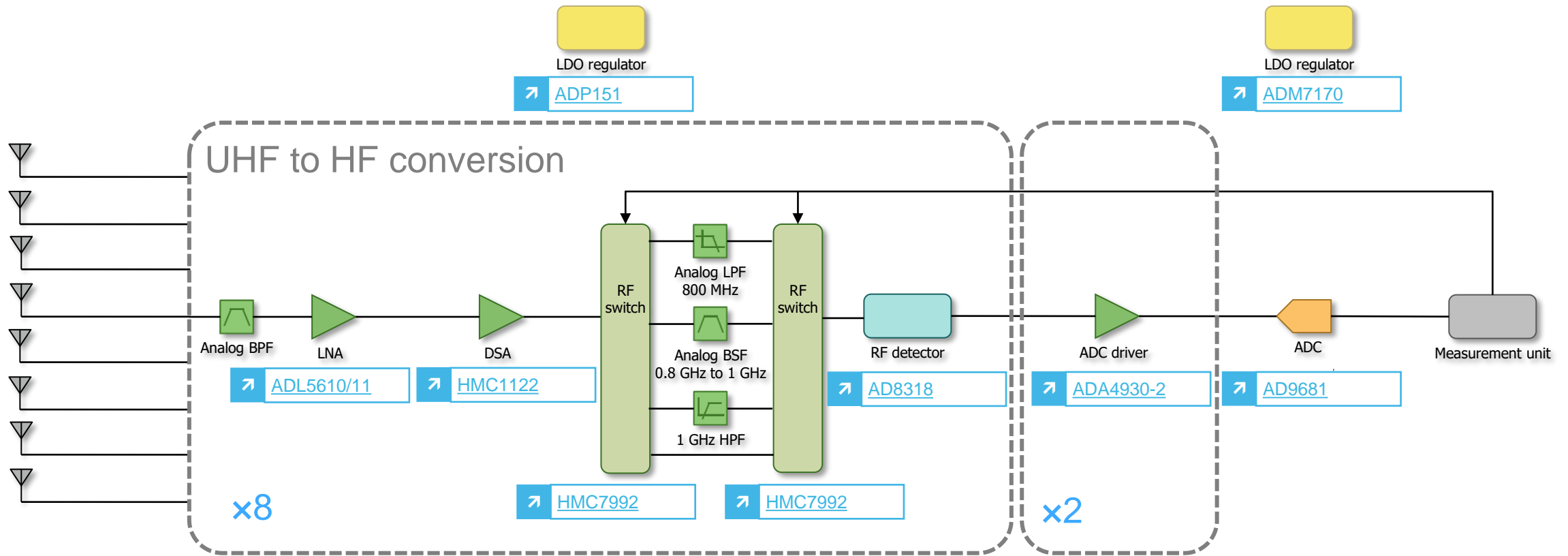


主要优点:

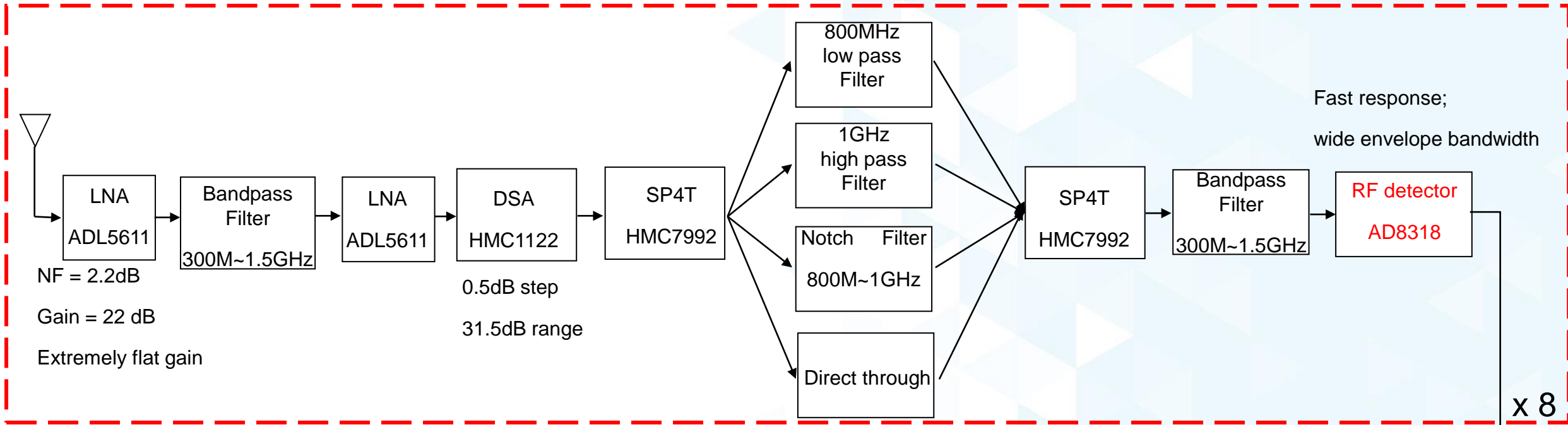
一是局部**放电脉冲能量几乎与频带宽成正比**，当只考虑检测元件的热噪声对灵敏度的影响时，用超频宽带检测有**更高的灵敏度**；

二是研究表明在变压器使用现场，变电站的背景、噪声和空气中电晕产生的电磁干扰频率一般很低，可用**宽频法对其进行有效的抑制**，用窄频法将其与局部放电信号加以区别。

Partial Discharge: Online Multichannel UHF Monitor



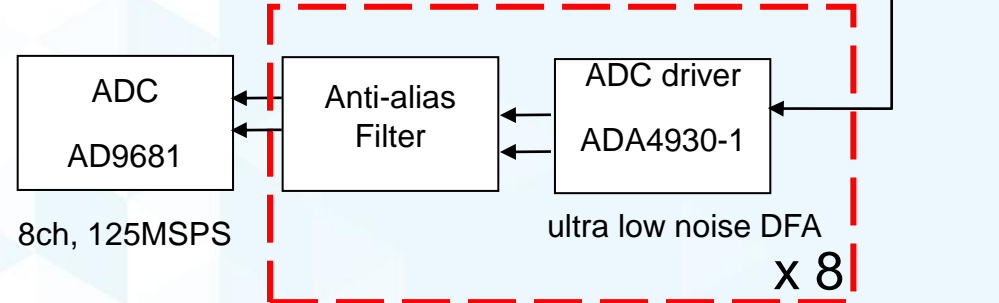
ADI signal chain proposal



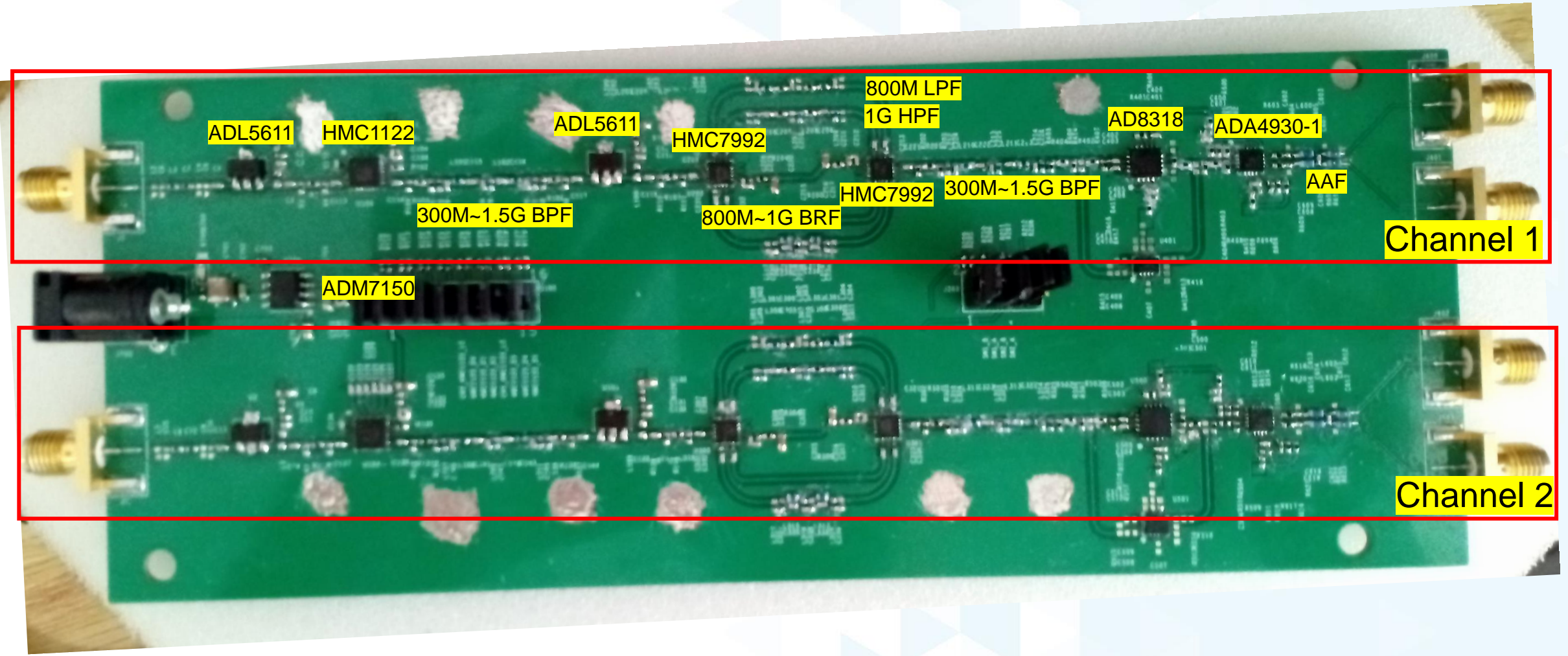
Rx Sensitivity: -75dBm

Dynamic Range: 68dB

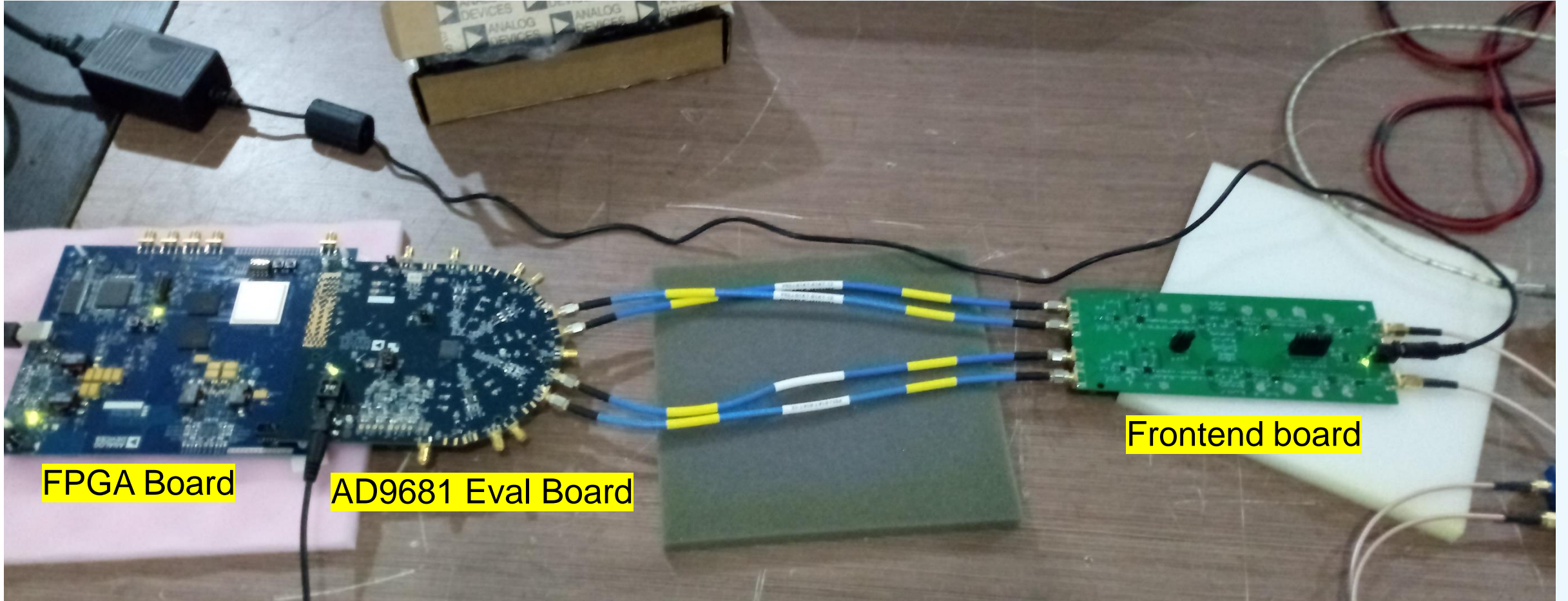
High PD location resolution by using high speed ADC and algorithm



Frontend board



Test setup



RF detector video bandwidth impact

OUTPUT INTERFACE	VOUT (Pin 6)		
Voltage Swing	$V_{SET} = 0\text{ V}; P_{IN} = -10\text{ dBm}$, no load ¹	4.9	V
	$V_{SET} = 2.1\text{ V}; P_{IN} = -10\text{ dBm}$, no load ¹	25	mV
Output Current Drive	$V_{SET} = 1.5\text{ V}; P_{IN} = -50\text{ dBm}$	60	mA
Small Signal Bandwidth	$P_{IN} = -10\text{ dBm}$; from CLPF to VOUT	60	MHz
Video Bandwidth (or Envelope Bandwidth)		45	MHz
Output Noise	$P_{IN} = 2.2\text{ GHz}; -10\text{ dBm}$, $f_{NOISE} = 100\text{ kHz}$, $C_{LPF} = 220\text{ pF}$	90	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Fall Time	$P_{IN} = \text{Off to } -10\text{ dBm}$, 90% to 10%	10	ns
Rise Time	$P_{IN} = -10\text{ dBm to off}$, 10% to 90%	12	ns

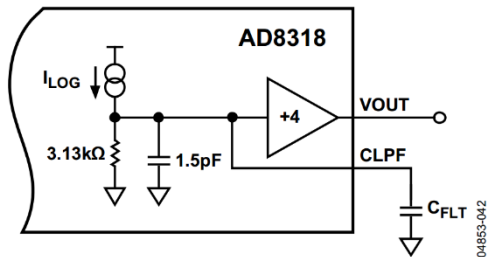


Figure 41. Lowering the Postdemodulation Bandwidth

C_{FLT} is selected by

$$C_{FLT} = \frac{1}{(\pi \times 3.13\text{ k}\Omega \times \text{VideoBandwidth})} - 1.5\text{ pF}$$

AD8318 video bandwidth

OUTPUT INTERFACE	VOUT (Pin 5)		
Voltage Swing	$V_{SET} = 0\text{ V}$, $R_{FIN} = \text{open}$	$V_{POS} - 0.1$	V
	$V_{SET} = 1.7\text{ V}$, $R_{FIN} = \text{open}$	10	mV
Output Current Drive	$V_{SET} = 0\text{ V}$, $R_{FIN} = \text{open}$	10	mA
Small Signal Bandwidth	$R_{FIN} = -10\text{ dBm}$, from CLPF to VOUT	140	MHz
Output Noise	$R_{FIN} = 2.2\text{ GHz}, -10\text{ dBm}$, $f_{NOISE} = 100\text{ kHz}$, $C_{LPF} = \text{open}$	90	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Fall Time	Input level = no signal to -10 dBm , 90% to 10%, $C_{LPF} = 8\text{ pF}$	18	ns
	Input level = no signal to -10 dBm , 90% to 10%, $C_{LPF} = \text{open}$, $R_{OUT} = 150\ \Omega$	6	ns
Rise Time	Input level = -10 dBm to no signal, 10% to 90%, $C_{LPF} = 8\text{ pF}$	20	ns
	Input level = -10 dBm to no signal, 10% to 90%, $C_{LPF} = \text{open}$, $R_{OUT} = 150\ \Omega$	10	ns
Video Bandwidth (or Envelope Bandwidth)		50	MHz

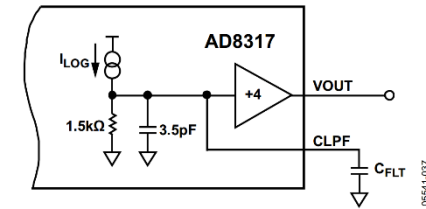


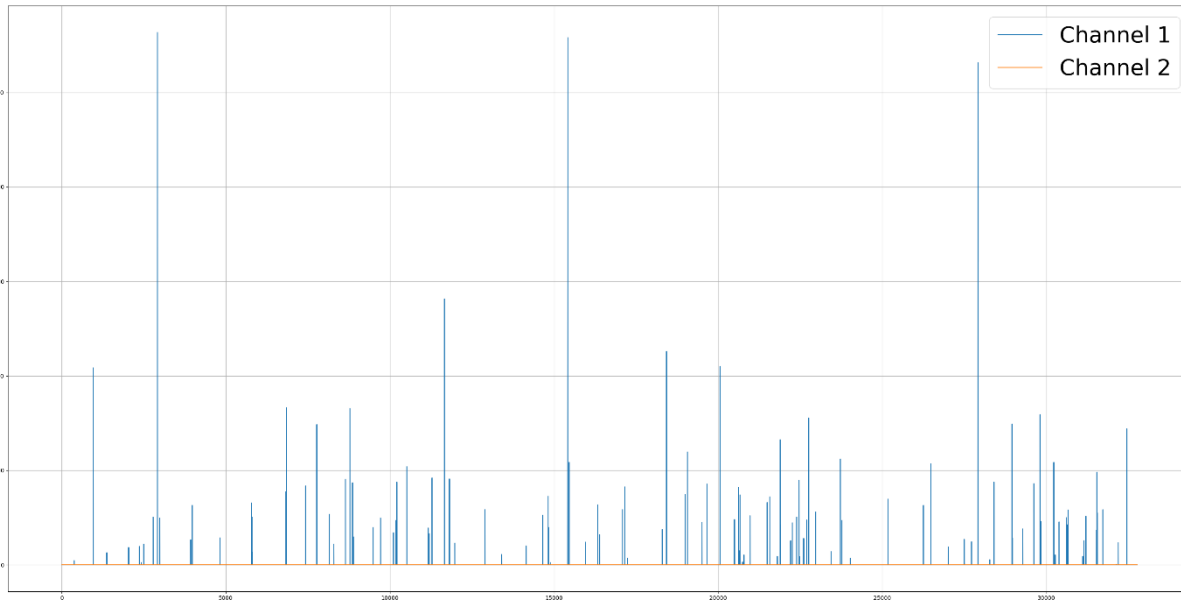
Figure 34. Lowering the Postdemodulation Bandwidth

C_{FLT} is selected by

$$C_{FLT} = \frac{1}{(2\pi \times 1.5\text{ k}\Omega \times \text{Video Bandwidth})} - 3.5\text{ pF}$$

AD8317 video bandwidth

RF detector video bandwidth impact



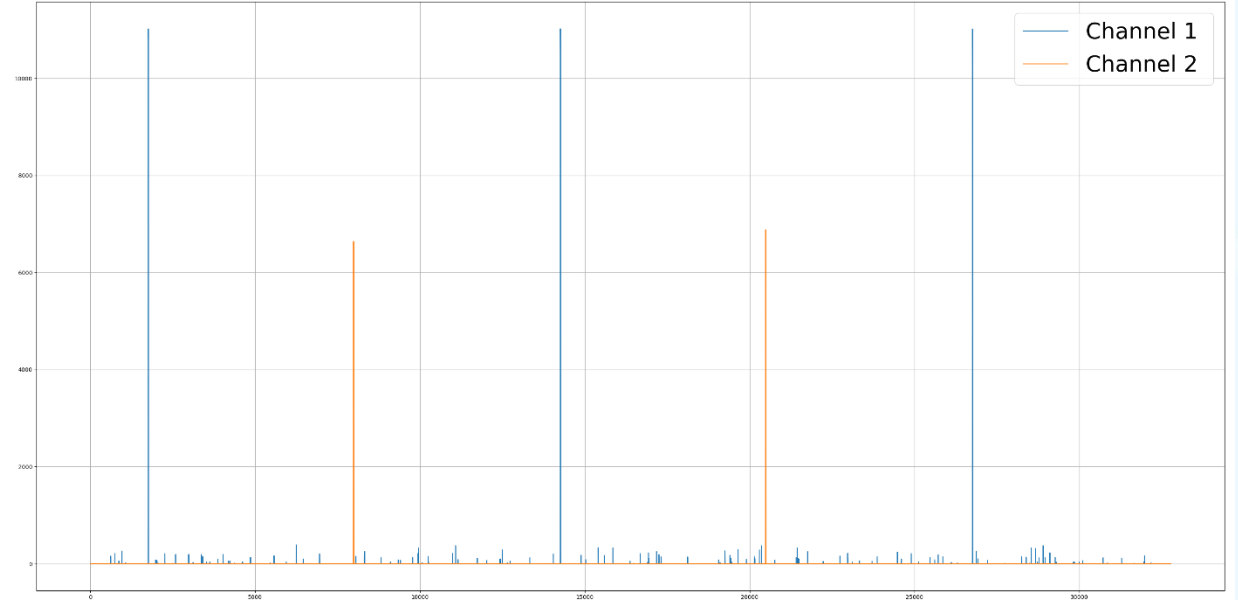
-75dBm pulse

Channel 1: CLPF is open

Channel 2: CLPF = 15pF

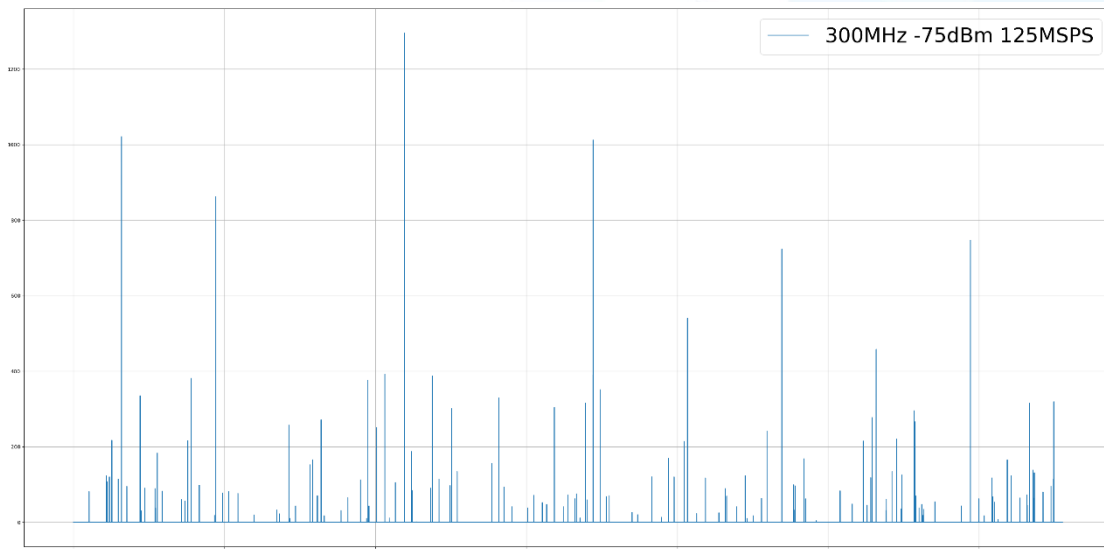
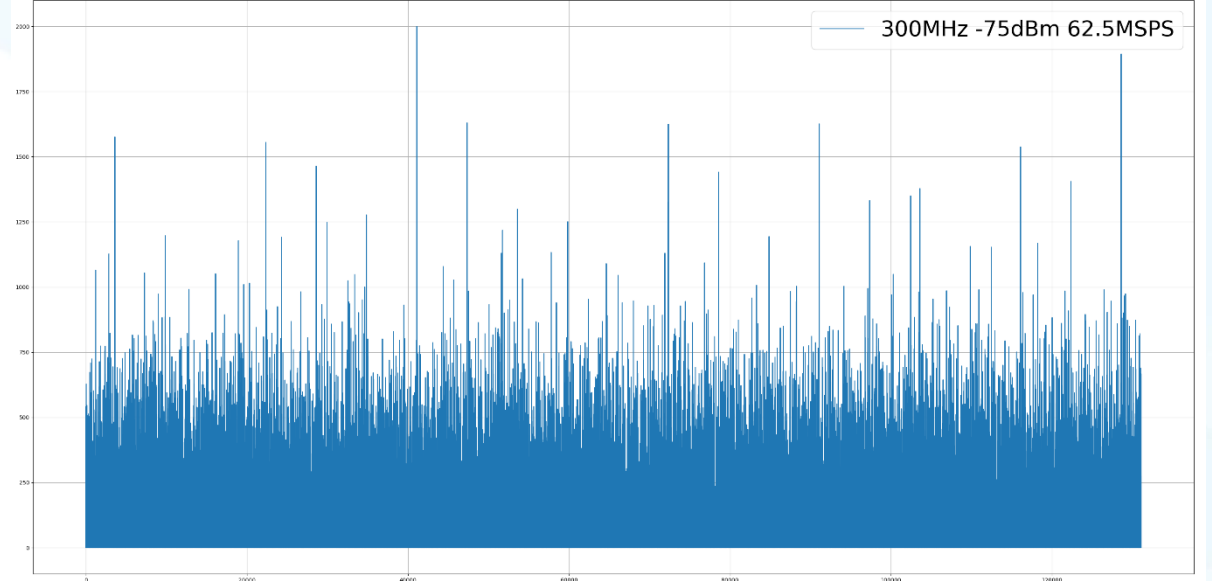
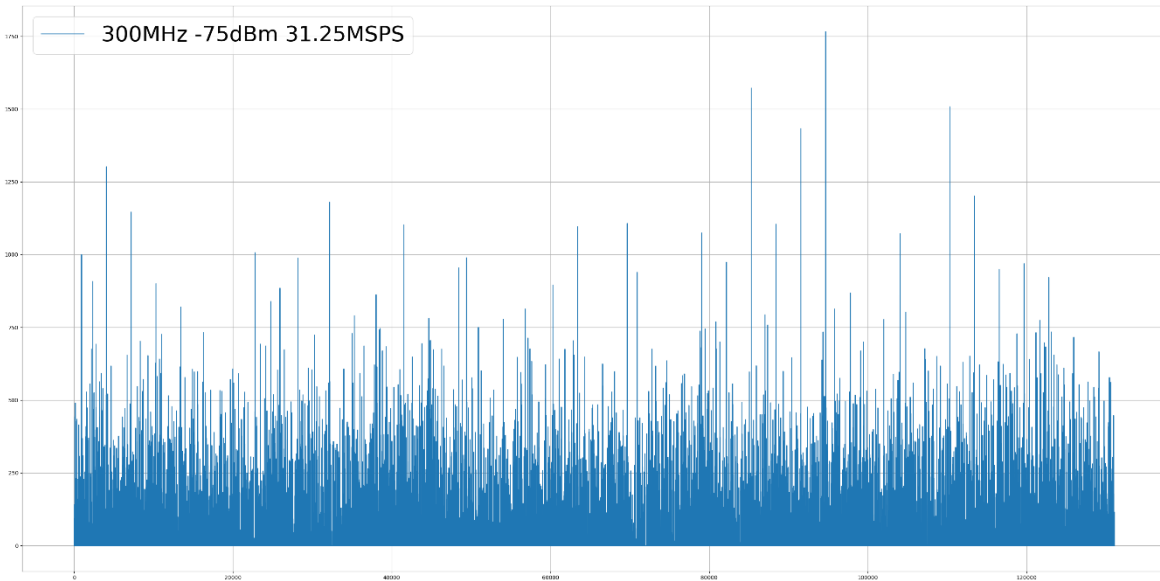
CW signal frequency = 300 MHz

Pulse width = 50nS



-45dBm pulse

ADC sampling rate impact – Channel 2

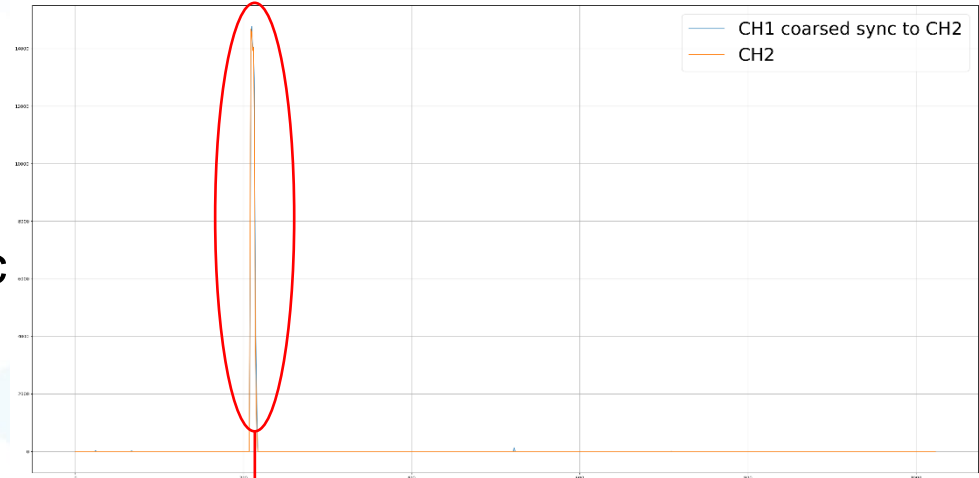


Nyquist 采样定理

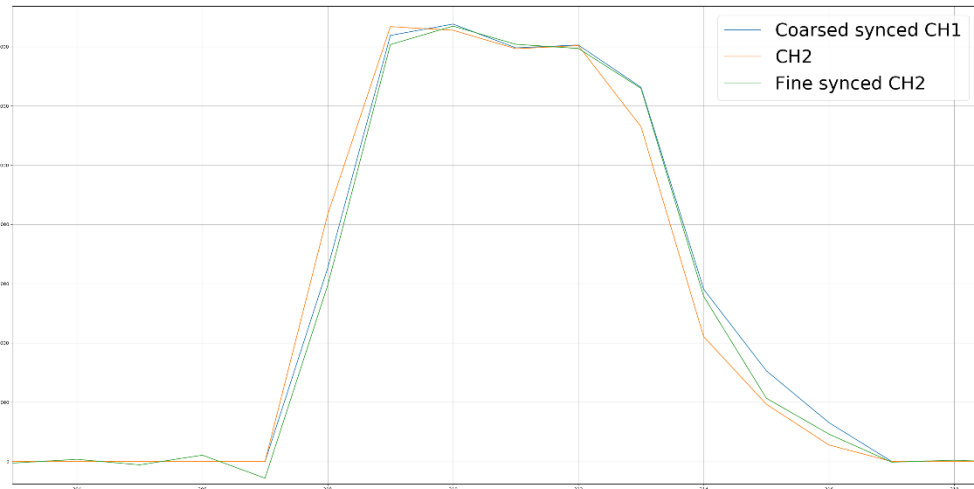
PD location algorithm: example 1



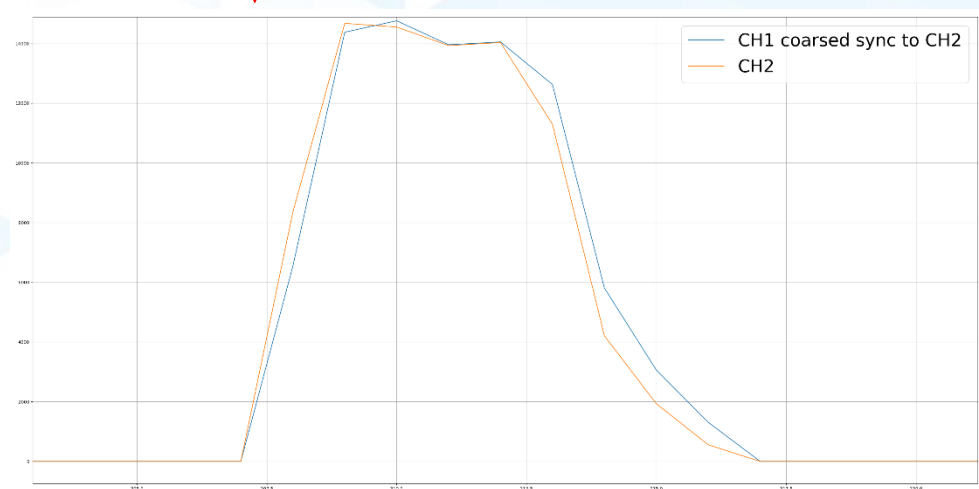
→
Coarse sync



↓
Zoom in



←
Fine sync



*: fine sync 1.83ns

PD test results with GIS

What is GIS

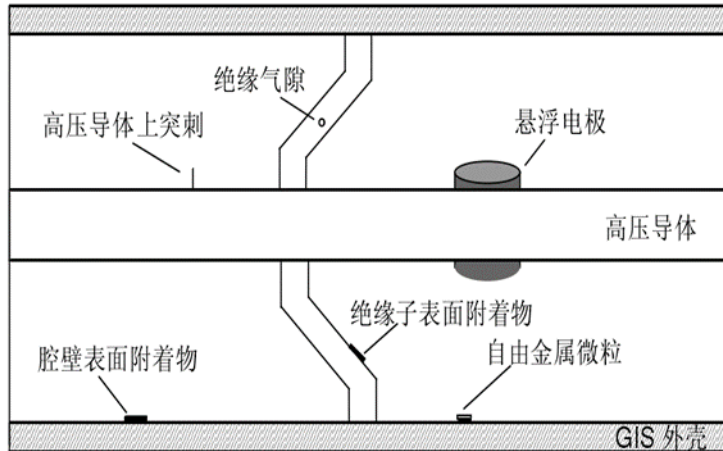
GIS (Gas Insulated Switchgear) 是气体绝缘全封闭组合电器的英文简称。GIS由断路器、隔离开关、接地开关、互感器、避雷器、母线、连接件和出线终端等组成，这些设备或部件全部封闭在金属接地的外壳中，在其内部充有一定压力的SF₆(六氟化硫)绝缘气体，故也称SF₆全封闭组合电器。

与常规敞开式变电站相比，GIS高压配电装置的优点在于结构紧凑、占地面积小、可靠性高、配置灵活、安装方便、安全性强、环境适应能力强，维护工作量很小，其主要部件的维修间隔不小于20年。

GIS国外生产厂家主要有ABB、东芝、三菱、日立、西门子、阿尔斯通等，国内生产厂家有西开、沈高、平高、泰开等。



GIS PD Classification



Particle

AIR GAP

TIPS

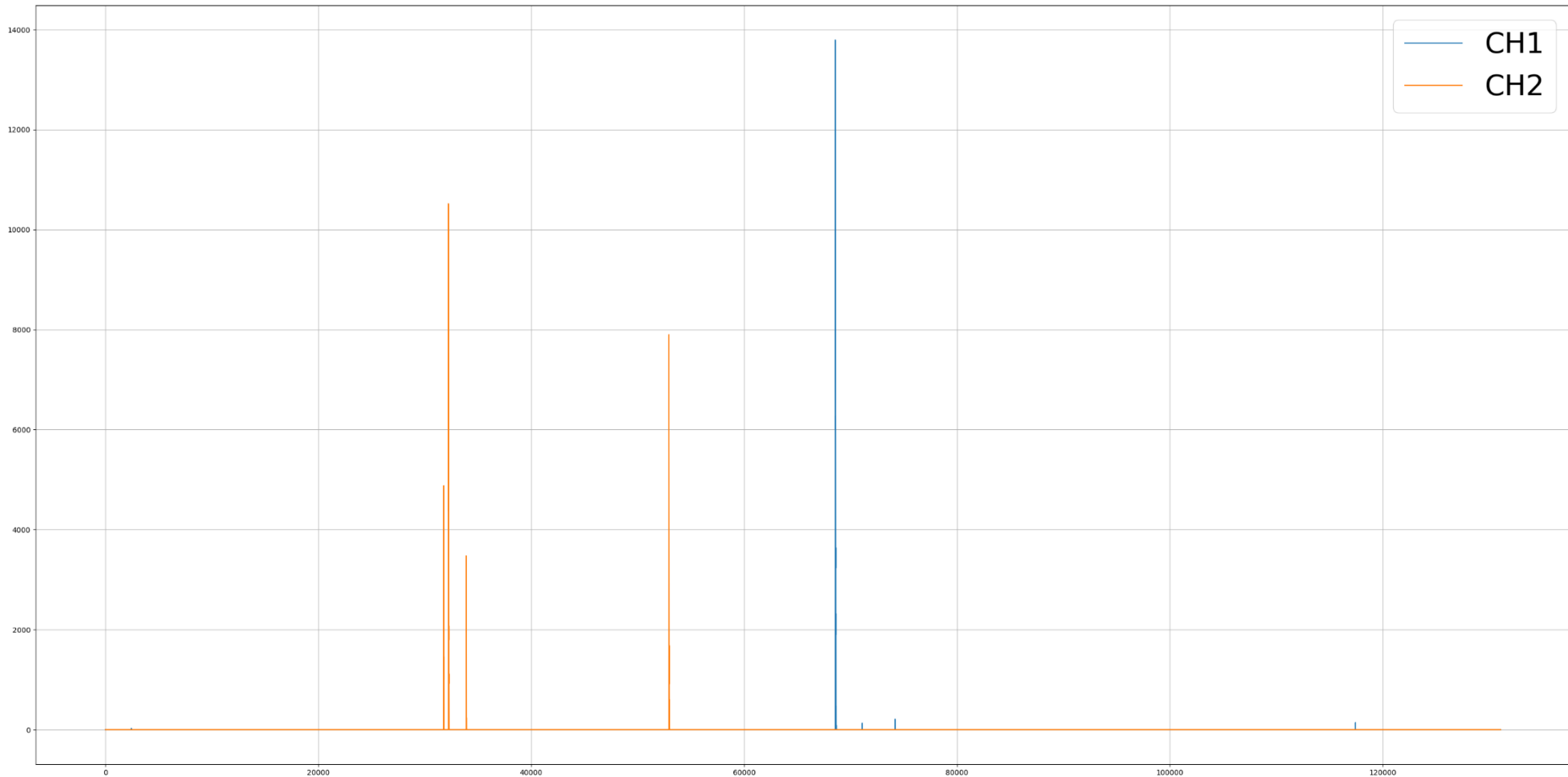
附录 A GIS 局部放电的典型图谱

类型	放电模式	典型放电波形	典型放电谱图
自由金属颗粒放电	金属颗粒和金属颗粒间的局部放电，金属颗粒和金属部件间的局部放电		
	放电幅值分布较广，放电时间间隔不稳定，其极性效应不明显，在整个工频周期相位均有放电信号分布。		
悬浮电位体放电	松动金属部件产生的局部放电		
	放电脉冲幅值稳定，且相邻放电时间间隔基本一致。当悬浮金属体不对称时，正负半波检测信号有极性差异。		
绝缘件内部气隙放电	固体绝缘内部开裂、气隙等缺陷引起的放电		
	放电次数少，周期重复性低。放电幅值也较分散，但放电相位较稳定，无明显极性效应。		
沿面放电	绝缘表面金属颗粒或绝缘表面脏污导致的局部放电；		
	放电幅值分散性较大，放电时间间隔不稳定，极性效应不明显。		
金属尖端放电	处于高电位或低电位的金属毛刺或尖端，由于电场集中，产生的SF ₆ 电晕放电。		
	放电次数较多，放电幅值分散性小，时间间隔均匀。放电的极性效应非常明显，通常仅在工频相位的负半周出现。		

Test environment



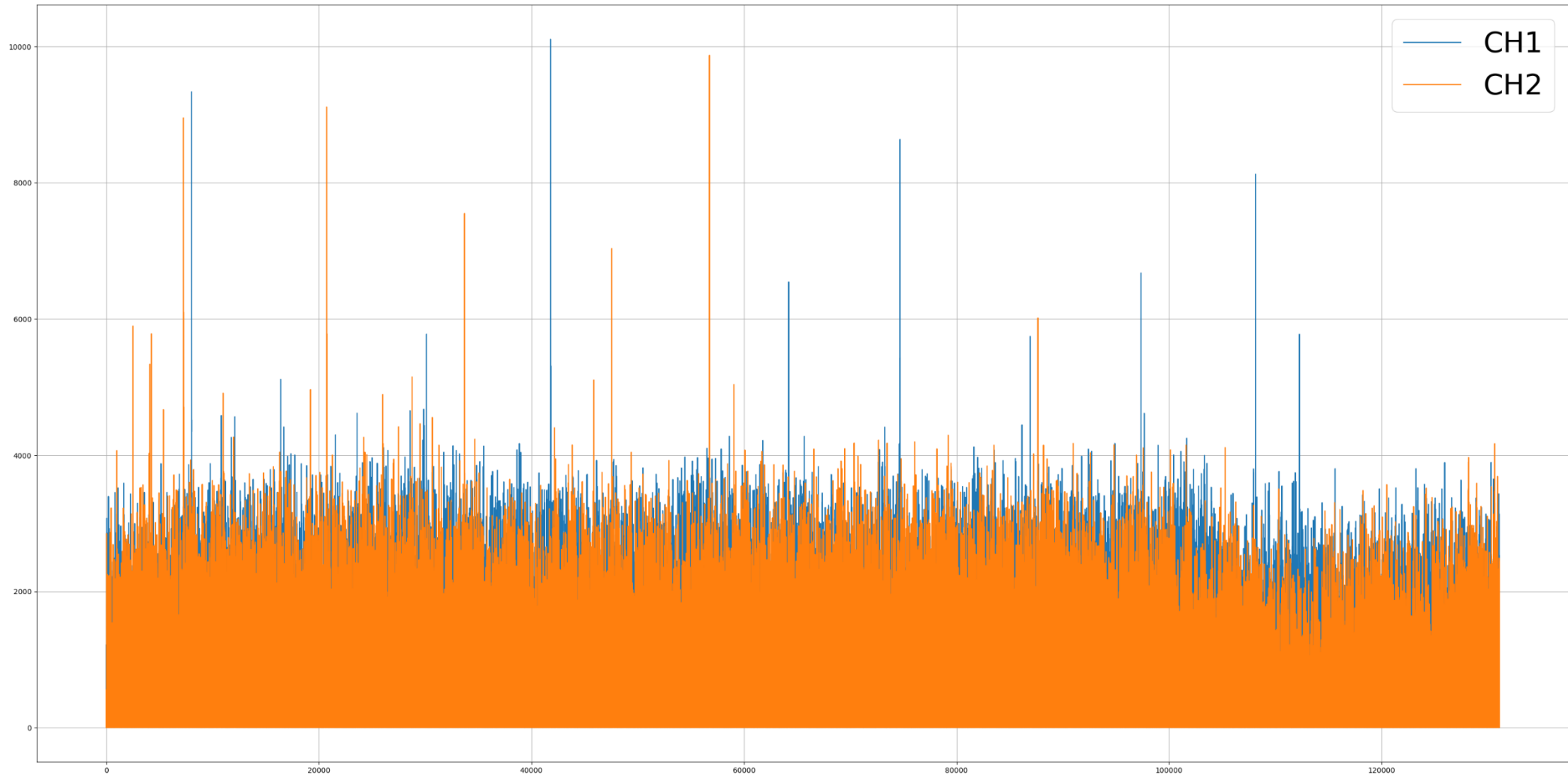
PD due to particle (金属离子放电)



*: (1) BRF path is chosen.

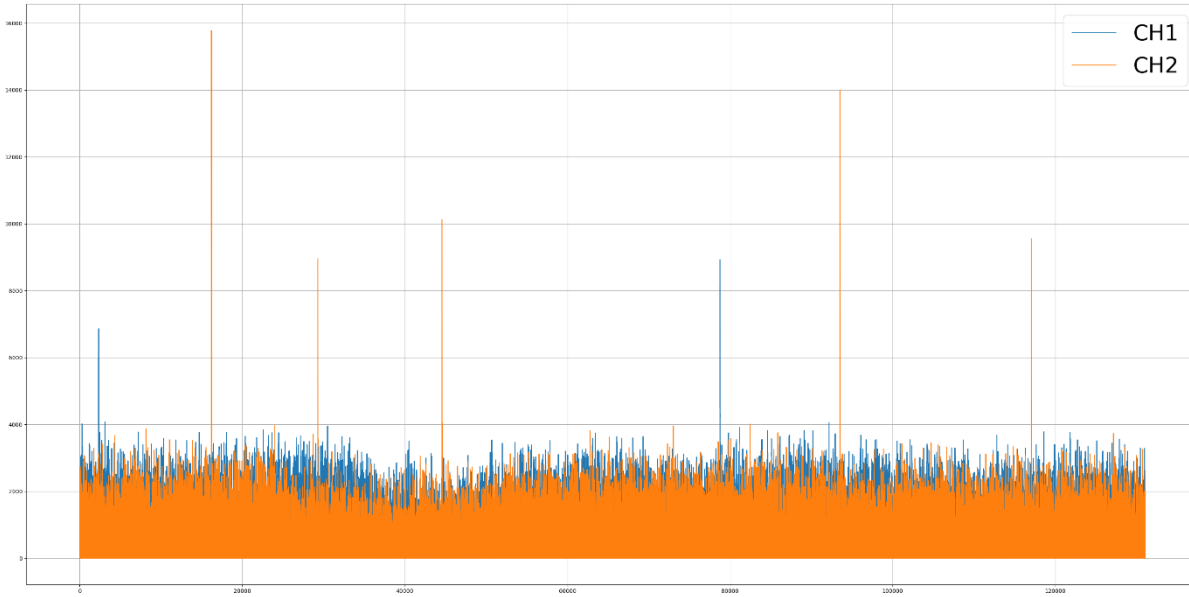
(2) Real PD signal is of 20ms period. Visual Analog can only capture 1mS ADC data.

PD due to tip (金属尖端放电)

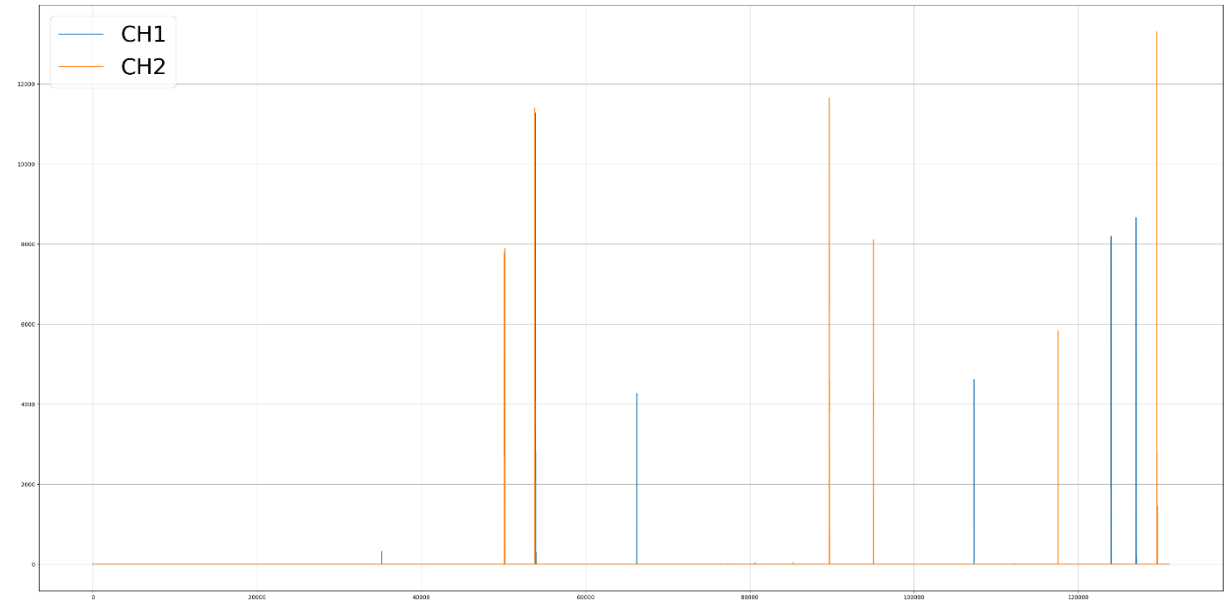


*: Direct through path is chosen.

PD due to air gap (内部气隙放电)



Direct through path



BRF path capture