

为UHF局部放电 在线监测系统设计 最好的前端

Van Yang, RF产品应用工程师

Meng Wang, RF产品应用工程师

Lance Wu, RF产品应用工程师

Aaron He, RF产品应用工程师

摘要

本文介绍如何使用ADI信号链进行超高频(UHF)局部放电在线监测系统的RF前端设计。该前端灵敏度低,动态范围高,可以满足中国国家电网企业标准Q/GDW11059.8-2013“电气设备通用电试验装置技术规范第8部分:超高频局部放电检测器的技术规范”的要求,并且提供不错的裕量。

简介

根据IEC 60270标准,局部放电(PD)是两个存在间隙的导电电极之间的部分绝缘区域发生的放电。局部放电被广泛认为是电网内的电气资产绝缘老化的最佳预警指示。

发生局部放电时,会产生具有较宽频率范围的信号,因此有4种针对不同频率范围的局部放电检测技术。超声波检测技术针对20 kHz至~200 kHz频率范围,高频电流互感器(HFCT)检测技术针对3 MHz至~30 MHz频率范围,瞬态接地电压(TEV)检测技术针对3 MHz至~100 MHz频率范围,超高频(UHF)检测技术针对300 MHz至~1500 MHz频率范围。UHF检测技术具有高检测灵敏度,广泛用于气体绝缘开关设备(GIS)、变压器和环网柜(RMU)的局部放电在线监测系统中。

局部放电信号分析

根据Q/GDW11282-2014标准“气体绝缘金属封闭开关设备的局部放电UHF耦合器现场检测规范”第7.1节,标准PD信号发生器可以产生以下PD脉冲信号特性:脉冲上升时间不超过300 ps,脉冲宽度

在10 ns和500 ns之间。然后,利用该信息在Python中构建PD仿真器信号。上升时间为300 ps,下降时间为10 ns。脉冲信号峰值幅度为100 mV,峰峰值噪声为10 mV。采样速率为10 GSPS,采样时间为10 μ s。将脉冲置于采样时间中间,上升波形和下降波形均进行线性拟合。

仿真的PD信号时域波形如图1所示,频域波形如图2所示。根据图2,能量最高的PD信号在1 GHz以下的频率范围内。脉冲上升时间低于300 ps时,更多能量分布在更高的频率范围内。

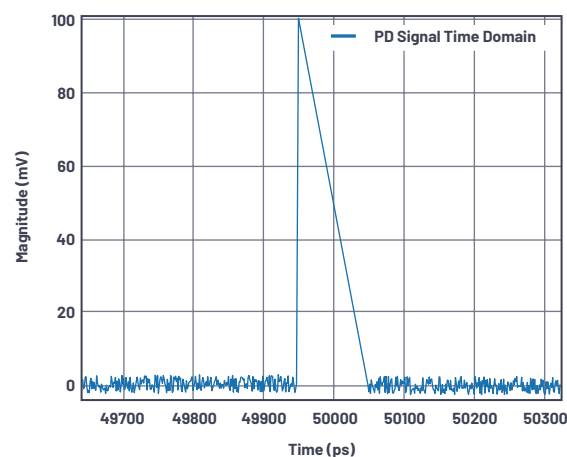


图1. PD信号时域波形。

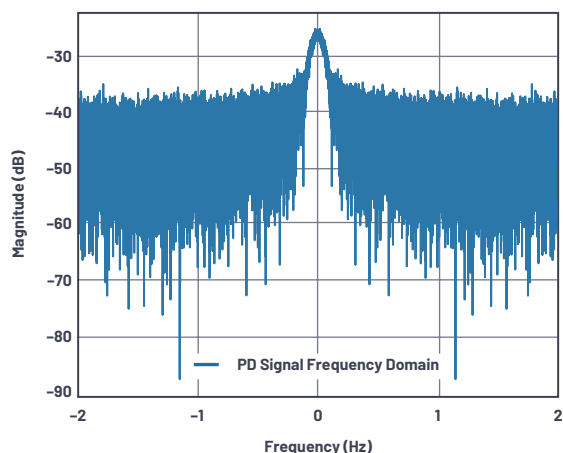


图2. PD信号频域波形。

在现代复杂的电磁环境中，UHF PD之间有很多工作频率在300 MHz至1500 MHz之间的无线干扰信号。为了消除这种干扰，客户一般会选择300 MHz至1.5 GHz之间的子频段来捕捉PD脉冲。正常情况下，约900 MHz左右的GSM的无线通信信号将会是最大的干扰信号。解决此问题的一种方法是采用带阻滤波器(BRF)来抑制800 MHz至1000 MHz的信号。典型的子频段划分方案如表1所示。当然，子频段划分是灵活的，客户可以根据实际的电磁环境进行调整。

表1. 典型的UHF PD子频段划分方案

子频段	频率范围
全频段	300 MHz至~1500 MHz
低通频段	300 MHz至~800 MHz
高通频段	1000 MHz至~1500 MHz
带阻频段	300 MHz至~1500 MHz, 抑制800 MHz至~1000 MHz频段

根据表1中的子频段划分，我们只保留图2所示的PD信号频谱的对应能量谱分量，然后执行快速傅里叶逆变换(IFFT)来研究在对应的滤波之后，时域波形会是什么样子。滤波后的时域波形如图3所示。根据图3，在滤波之后，PD脉冲峰值会下降。滤波之后，PD脉冲上升时间会增加，下降时间会减少。滤波之后，在所有波形中，全频段具有最大峰值，之后是带阻频段和低通频段。高通频段的峰值最小，但仍可捕捉到PD脉冲。

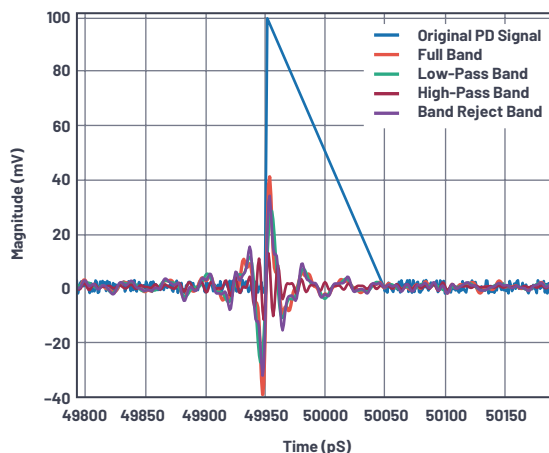


图3. 滤波之后的PD信号时域波形。

使用ADI信号链的UHF PD检测RF前端

可以使用ADI信号链开发带4个通道的UHF PD检测RF前端板。其中一个通道的框图如图4所示,整个电路板的前视图如图5所示。

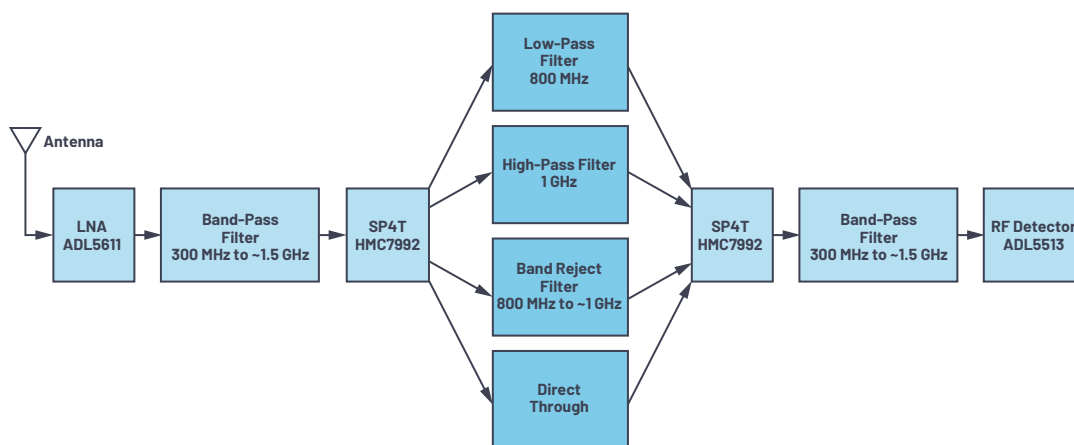


图4. UHF PD检测RF前端板框图。

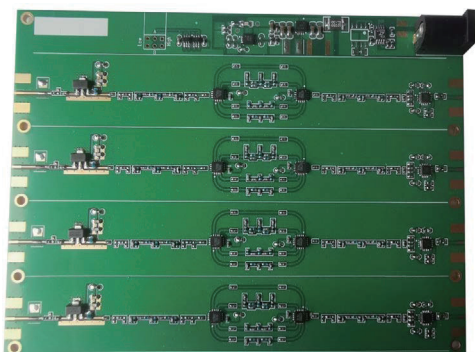


图5. UHF PD检测RF前端板的前视图。

这个前端的第一级是射频增益模块ADL5611。ADL5611具有2.1 dB低噪声系数(NF)和21 dBm高P1dB，可提供高动态范围。ADL5611具有22 dB增益，在300 MHz至1500 MHz UHF PD工作频率内其增益极为平坦，具有低于0.4 dB的增益纹波。所有这些特性使得ADL5611非常适合UHF PD检测应用。

第二级是基于电感电容的300 MHz至1500 MHz的带通滤波器(BPF)，该滤波器提供带外干扰抑制。

第三级使用两个单刀四掷(SP4T)射频开关HMC7992来实现频段选择电路。第1条RF路径是直流至800 MHz低通路径，第2条RF路径是1 GHz高通路径，第3条路径是800 MHz至1 GHz的带阻路径，第4条路径为直通路程。根据不同的RF路径选择，客户可以选择不同的RF频段，在没有干扰或干扰最小的频段内捕捉PD脉冲。HMC7992具有0.6 dB低插入损耗、45 dB高隔离度和33 dBm的高P1dB。

第4级是一个300 MHz至1500 MHz BPF，这与第2阶段使用的BPF相同，可以进一步提供带外干扰抑制。

最后一级是RF对数检波器ADL5513，它将UHF PD信号转化为几十MHz的低频信号。所以，可以使用采样速率为40 MSPS或65 MSPS的ADC将模拟PD信号转化为数字信号。对于PD检测应用，所需的RF检波器主要特性为响应时间和动态范围。ADL5513具有低至20 ns的响应时间和高至80 dB的动态范围，所以非常适合用于PD检测应用。RF对数检波器AD8318也适用于PD检测应用。与ADL5513相比，它的响应时间更快，但动态范围稍小。

测试结果

对该板的关键性能进行了测试，图6至图8为屏幕截图。

图6显示的是从第一级输入到最后一级ADL5513的输入端口，设置在直通路程上的S参数。图中显示，从300 MHz至1500 MHz全频段，增益约为14 dB，增益平坦度优于2 dB，输入回波损耗优于-8 dB。

图7显示的是在PD工作的中心频点900MHz，输出电压与输入连续波信号的功率的响应曲线。使用输入功率测量了两个通道。根据测试结果，在-75 dBm至-5 dBm输入功率范围内，整个信号链具有线性响应。通道间的性能一致性也非常好。

图8为输入900 MHz连续波信号脉冲时测得的输出波形。信号功率为-75 dBm，脉冲宽度为5 μ s，脉冲周期为10 μ s。根据该波形，当信号功率低至-75 dBm时，输出信号的信噪比仍然相当可观。

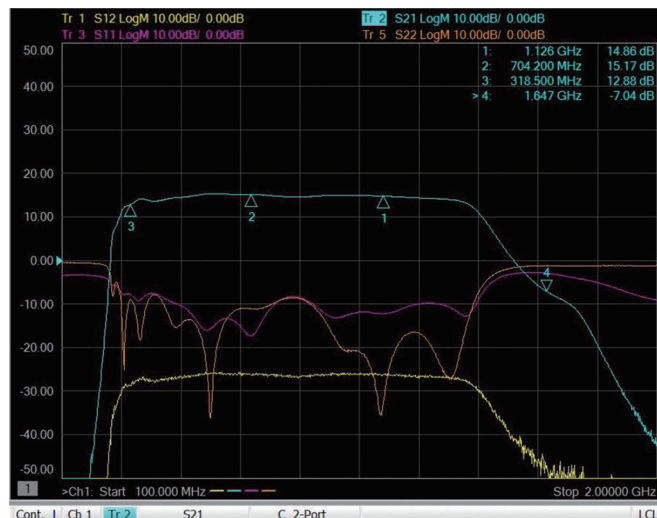


图6. 从第一级输入到最后一级ADL5513输入在直通路程下的S参数。

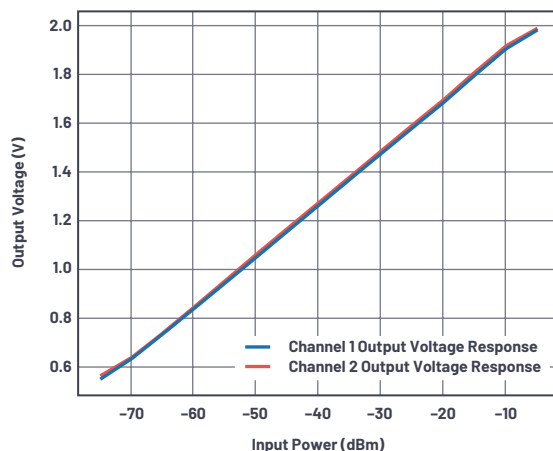


图7. 输出电压与输入功率的关系。



图8. -75 dBm脉冲连续波输入的输出响应

结论

本文展示了如何使用ADI信号链来构建UHF PD检测板。这个完整的参考设计允许用户灵活选择不同频段，以消除复杂电磁环境中的干扰。它还符合中国Q/GDW11059.8-2013标准的要求。

参考资料

Fernando Álvarez、Fernando Garnacho、Javier Ortego、Miguel Ángel Sánchez-Urán。“在线局部放电测量中通过使用HFCT和UHF传感器实现对高压设备的绝缘诊断。”传感器，第15卷第4期，2015年4月。

Q/GDW11059.8-2013“电气设备通电试验装置技术规范第8部分：超高频局部放电检测器的技术规范”。

作者简介

Van Yang是ADI上海公司的一名应用工程师。他于2015年加入ADI公司，负责为中国医疗和工业客户提供支持。加入ADI之前，Van曾在TI担任4年的现场应用工程师。Van在2011年从武汉华中科技大学获得通信和信息系统专业硕士学位。业余时间他酷爱篮球和徒步旅行。

Meng Wang是ADI北京公司的一名产品应用工程师，拥有10年应用、硬件和嵌入式系统开发经验。他于2014年加入ADI，为工业测试、物联网和3D相机系统提供设计技术支持。他拥有北京科技大学机械设计与理论专业的学士和硕士学位（2011年）。联系方式：meng.wang@analog.com。

Lance Wu是ADI上海公司的一名现场应用工程师。他于2018年加入ADI担任现场应用工程师，为中国通信客户提供支持。加入ADI之前，Lance曾在Lattice担任RF工程师。他于2016年获得中国科学院上海微系统与信息技术研究所微电子学硕士学位。联系方式：lance.wu@analog.com。

Aaron He是ADI上海分公司的系统应用工程师，于2017年加入ADI。加入ADI之前，Aaron曾在爱立信担任高级RF工程师。Aaron拥有超过十年的无线通信基站设计、集成和生产测试系统开发工作经验。Aaron于2001年获得西安交通大学通信工程学士学位，并于2006年获得华中科技大学微波工程硕士学位。联系方式：aaron.he@analog.com。

在线支持社区



访问ADI在线支持社区，中文技术论坛
与ADI技术专家互动。提出您的
棘手设计问题、浏览常见问题
解答，或参与讨论。

请访问ez.analog.com/cn

