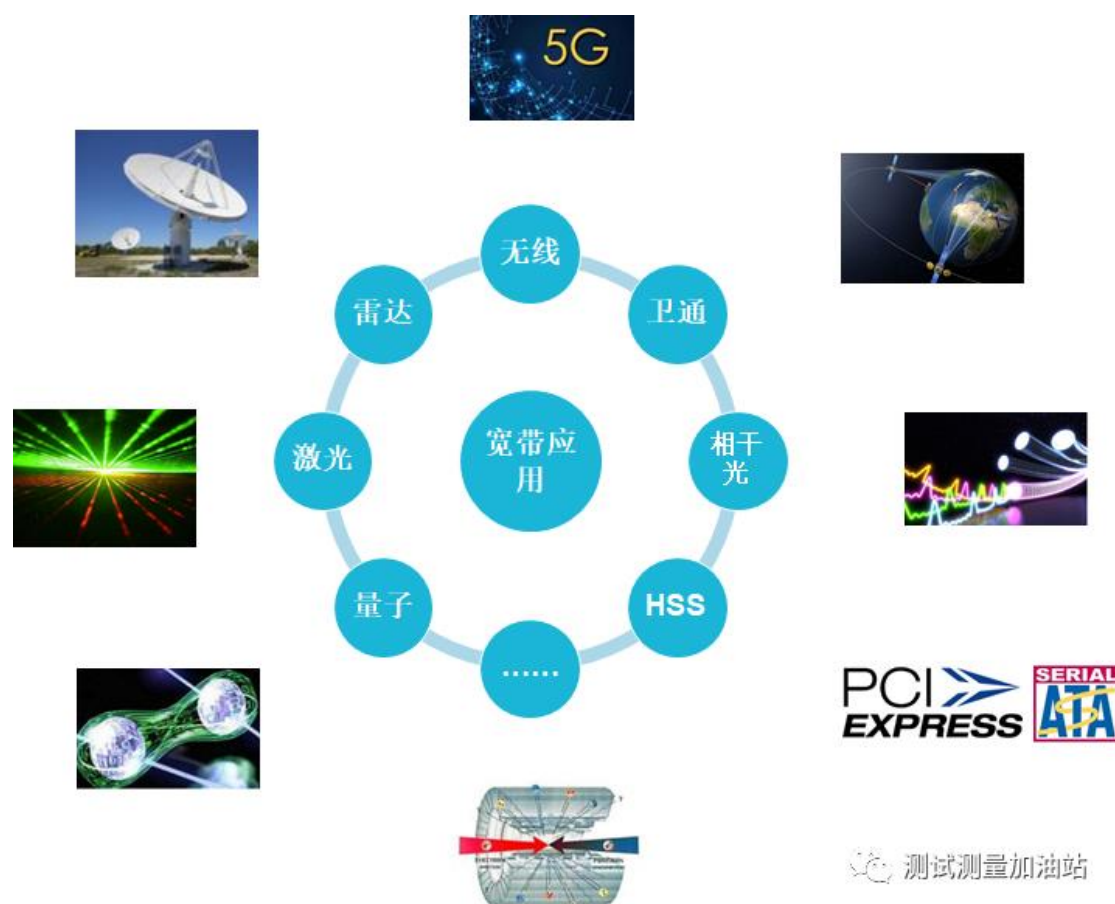


哦买噶！原来这样做可以大大提高宽带信号质量！

抖音、B 站、微信视频号、小红书、快手等越来越多的视频应用走进我们的日常生活，宽带应用可以说是与日俱增；5G、智能驾驶、物联网等带来了海量数据涌现，而这一切都离不开宽带接入、宽带通信，这些应用催生着更多海量数据出现，在这种宽带通信的刚需下，需要的传输数据速率越来越高，信号的带宽越来越大。

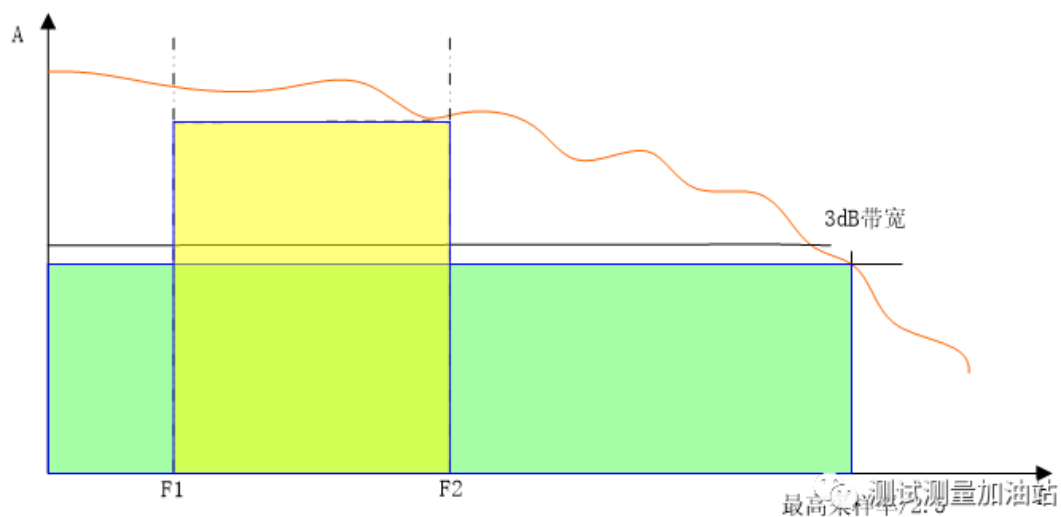


随着技术的发展，在通信、雷达、光通信应用、及前沿科技领域等，为了实现更高的传输速率，也需要宽带通信，比如 5G/通信/相干光/基带传输。为了获得更高的距离分辨率，雷达往往采用脉冲压缩技术，脉内采用一定带宽的调制方式。激光应用及量子应用往往会涉及到极窄脉冲，窄脉冲意味着具有非常高的带宽。

汽车自动驾驶非常火爆，为了实现自动驾驶，汽车需要配置很多传感器，毫米波雷达是其中重要的一种传感器，传统 24GHz 毫米波雷达带宽约 200MHz，精度只能达到米级，要想实现更高级别的自动驾驶，汽车上需要配备更高频段 77GHz-81GHz 的毫米波雷达，调制带宽大于 4GHz，以便实现更精准的分辨精度。

为什么要补偿校准？

为了获得更多的带宽，更高数据速率，频段正向毫米波发展，而在毫米波频率下，信号更容易产生损伤，从而影响到信号的质量。另外，带宽越大，由于有器件、电缆等损耗影响，导致带内不平坦，相位非线性失真，由于信号在链路中叠加了 DAC、电缆等幅度起伏和相位失真，在精确测量场合用户可能是无法容忍较大失真的存在。为保证信号的带内平坦度，需要对信号进行校准来改善信号的质量。



宽带补偿校准的方式

两种校准补偿方式：

1. 发送端预失真（或预校正 predistortion）
2. 接收端均衡（equalization）

发送端预失真校准的步骤

Step1. 信号源发送多音信号作为校准信号，间隔一般设置 10MHz；

Step2. 利用实时示波器或实时频谱分析仪采集波形数据；

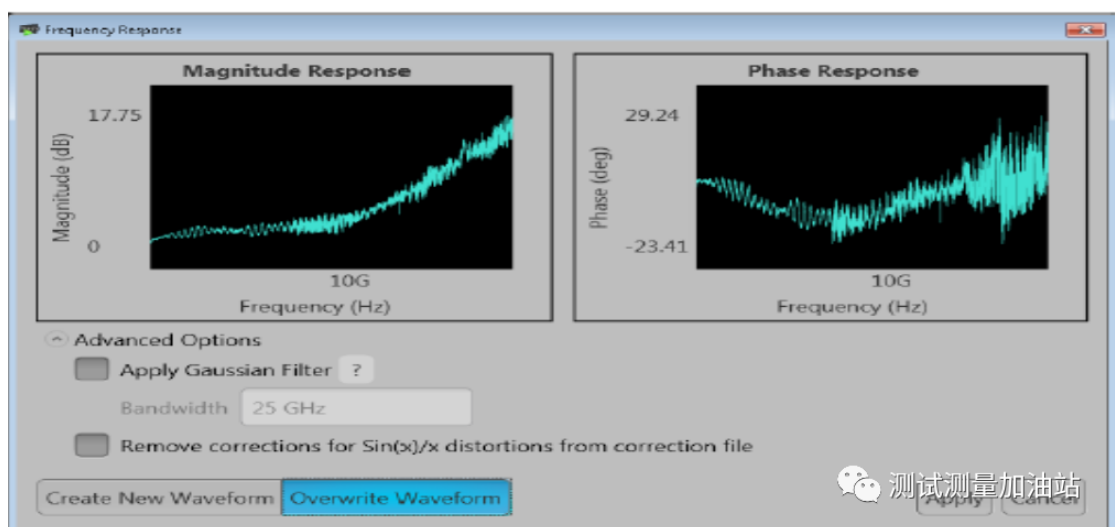
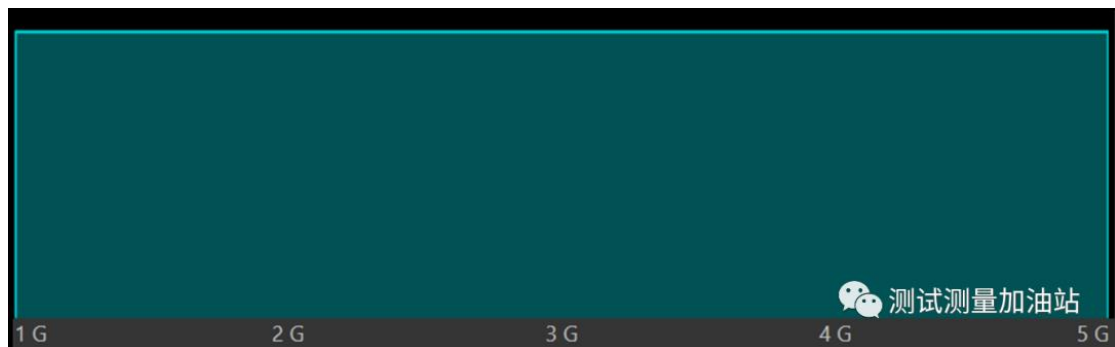
Step3. 把采集的数据进行 FFT 得到幅频特性和相位特性；

Step4. 把采集信号的幅频特性和和相位特性数据与信号源发送激励信号的幅频特性和相位特性数据进行比对，估计出幅频特性和和相位特性的失真，得到修正的校准因子；

Step5. 存储在校正因子文件，类似 S1P 文件；

Step6. 然后利用校准因子对发送端的信号进行预失真补偿处理；

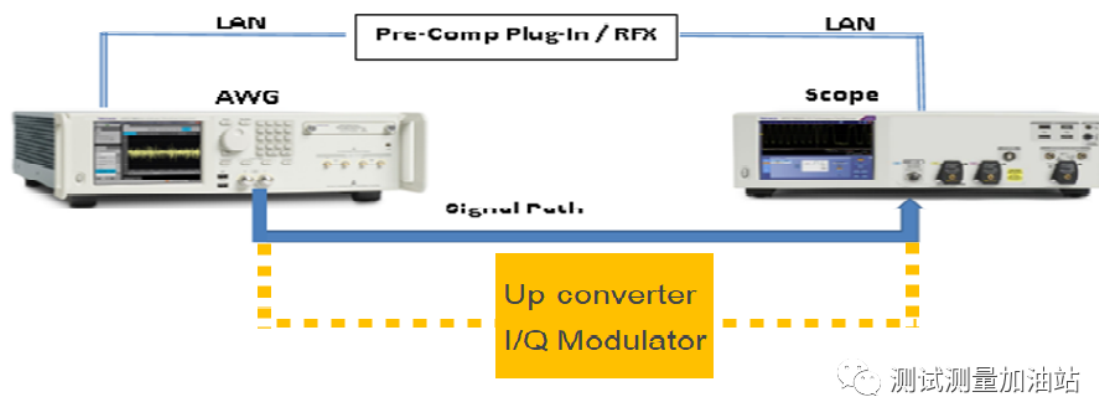
Setp7. 只要链路不变，在校准的带宽范围以内，只要校准一次，得到校正因子，不需要重复校准。



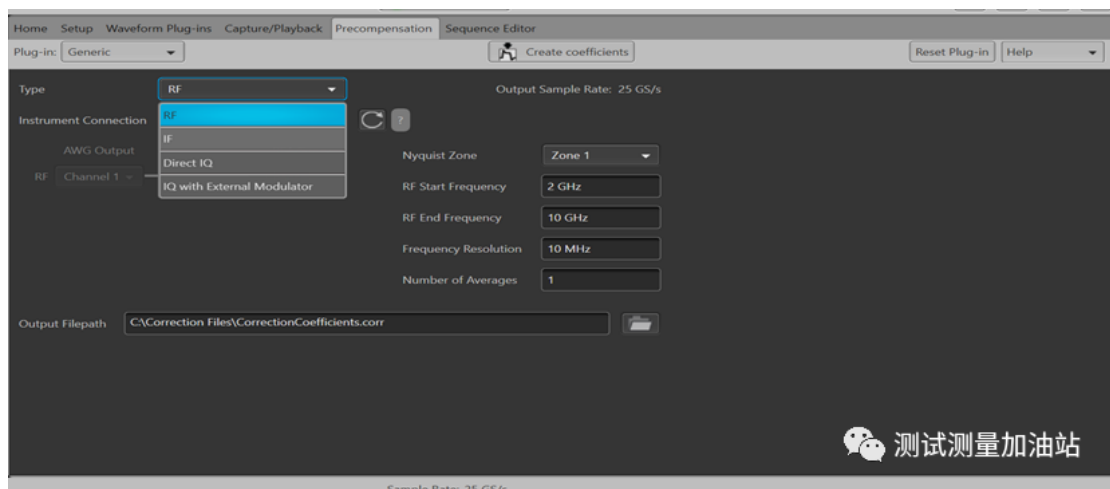
! symbols indicate comment lines	1 ! Generic Precompensation Calculated Coefficients	Header provides basic setup information
	2 ! SLP DATA File Format	
	3 ! Date=8/31/2015	
	4 ! SerialNumber=B010264	
	5 ! Model=AWG70002A	
	6 ! SampleRate=25000000000	
	7 ! NyquistZone=1	
	8 ! Channel=1	
	9 ! Amplitude=0.5	
	10 ! Analyzertype=scope	
	11 ! AnalyzerSerialNumber=B260167	
	12 ! Type=RF	
	13 ! FrequencyResolution=1000000	
	14 ! NumberOfFrequencies=12499	
# symbol required to indicate start of data	15 # Hz 5 DB R 50	Coefficient data
16 ! Freq db(521) deg(521)		
17 1.000000000E+006 5.407519770E-002 0.000000000E+000		
18 2.000000000E+006 3.137009836E-001 -4.243139251E-001		
19 3.000000000E+006 1.836373572E-001 -7.957089428E-001		
20 4.000000000E+006 8.891616085E-002 -3.538308799E-001		
21 5.000000000E+006 1.067637314E-001 -2.352129529E-001		
22 6.000000000E+006 1.172397923E-001 -3.204048584E-001		
23 7.000000000E+006 2.419145575E-001 -6.529653631E-001		
24 8.000000000E+006 4.599761419E-001 -3.452067439E-001		
25 9.000000000E+006 7.843344842E-002 -4.616272213E-001		
26 1.000000000E+007 4.962496071E-002 -1.775152249E-001		
27 1.100000000E+007 2.095510774E-001 2.300469508E-001		
28 1.200000000E+007 2.116381898E-001 -8.732627635E-002		
29 1.300000000E+007 0.000000000E+000 1.011070187E-002		

测试测量加油站

一般 AWG 内置校准功能可以实现信号预失真处理，使得 AWG 输出的宽带调制信号具有平坦的频响和线性相位响应。此外，还可以校准 $F_s/2$ 和 F_s 之间的映像，从而为采样不足的信号提供平坦的响应，只需简单的操作就可以完成整个系统的校准。由于独有的在线闭环校准功能，通过简单的参数设置，便快捷地完成信号预失真校准，保证输出宽带调制信号有很好的平坦度和线性相位响应，完全能够达到宽带调制信号分析和测量的要求。



AWG 需要配合利用高性能实时示波器或实时频谱仪对信号的幅度和相位进行闭环校准，以获得平坦的频率和线性相位响应。用户均可以通过指定起始和截止频率（射频和中频）或带宽（IQ/IQ 调制器）定义补偿带宽。预补偿插件适用于多种调制波形类型和应用，包括射频、中频或者 IQ 信号等。在指定的带宽范围内进行校准，这样在其它条件不变的情况下，指定带宽内的校准（预失真）可以获得更大的信号输出幅度和信噪比。

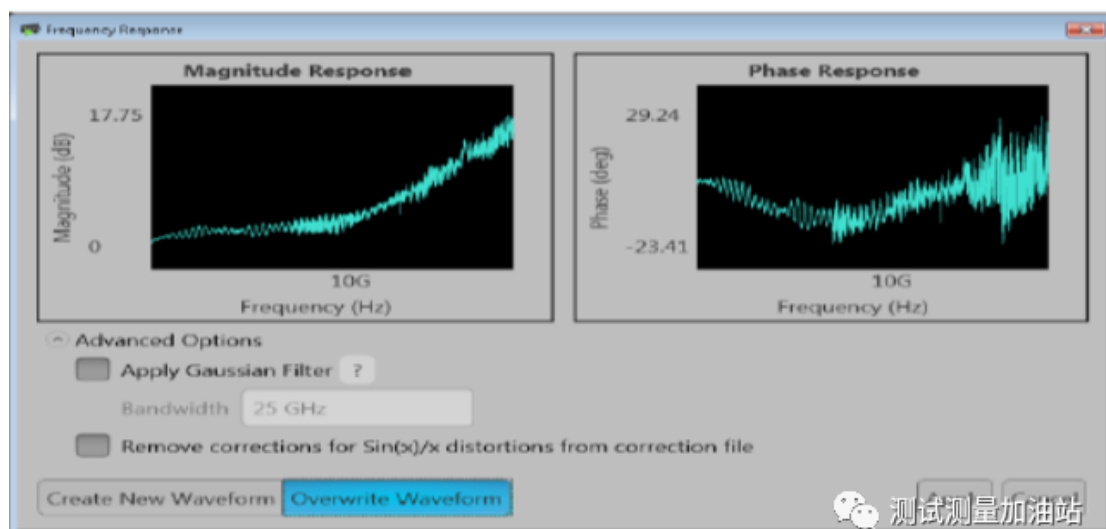


下面的视频将深入浅出讲解如何进行发送端预失真校准。

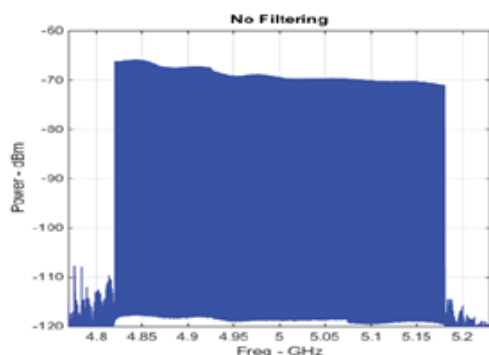
[手把手教你如何进行预失真校准（6 分 0 秒，点击查看）](#)

发送端预失真校准后的结果对比

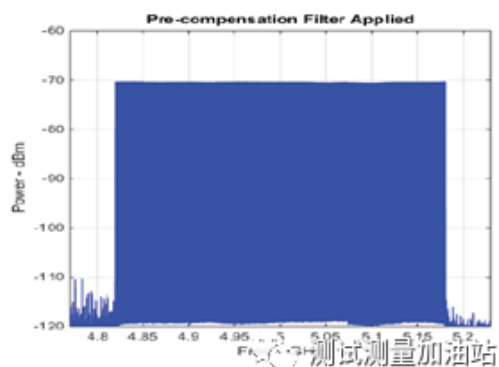
校准后可以把 DAC、电缆的幅度起伏和相位失真等影响消除，由于独有的在线闭环校准功能，该系统既可产生高保真宽带矢量信号，也可生成人为损伤信号，甚至其它设备采集到的“真实世界”信号，即可知、可控及可重复地生成各种宽带矢量信号。



校准前的幅频响应



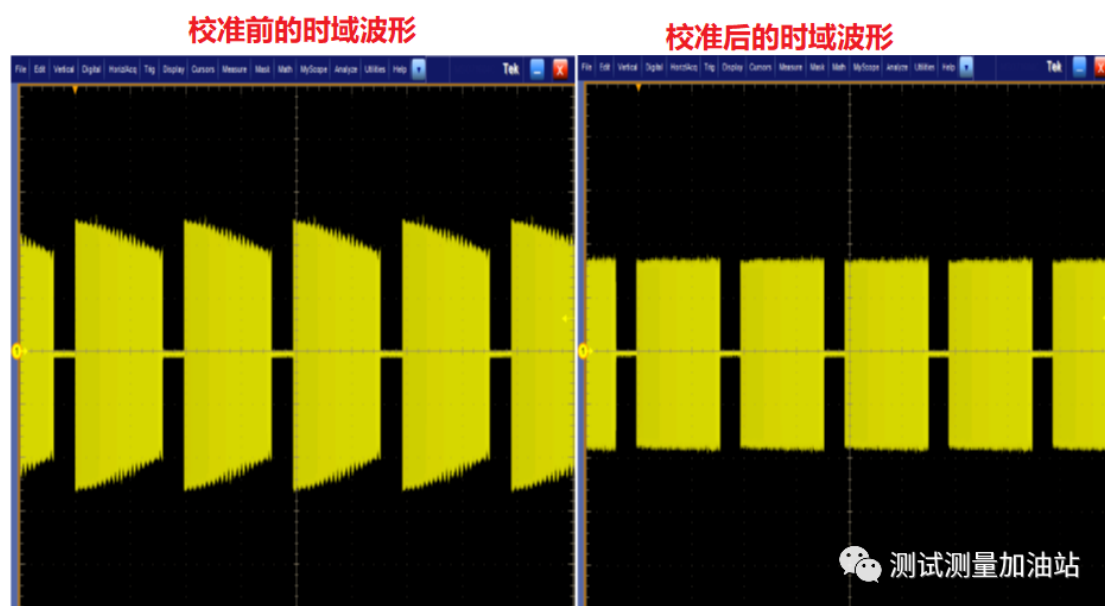
校准后的幅频响应



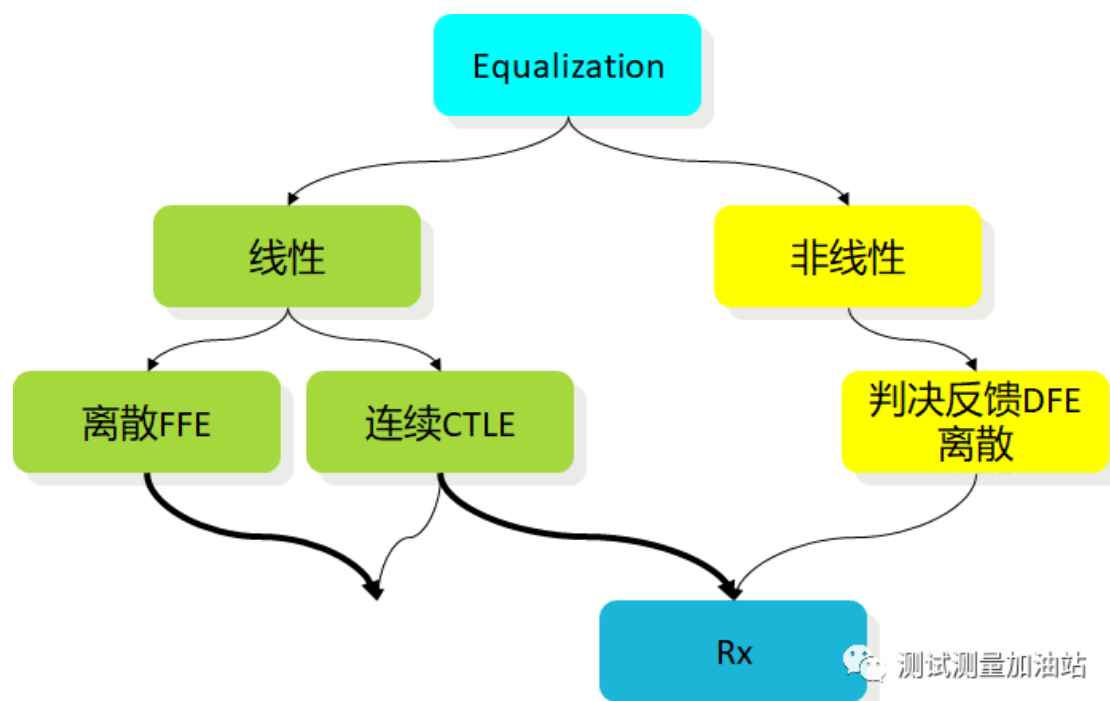
测试测量加油站

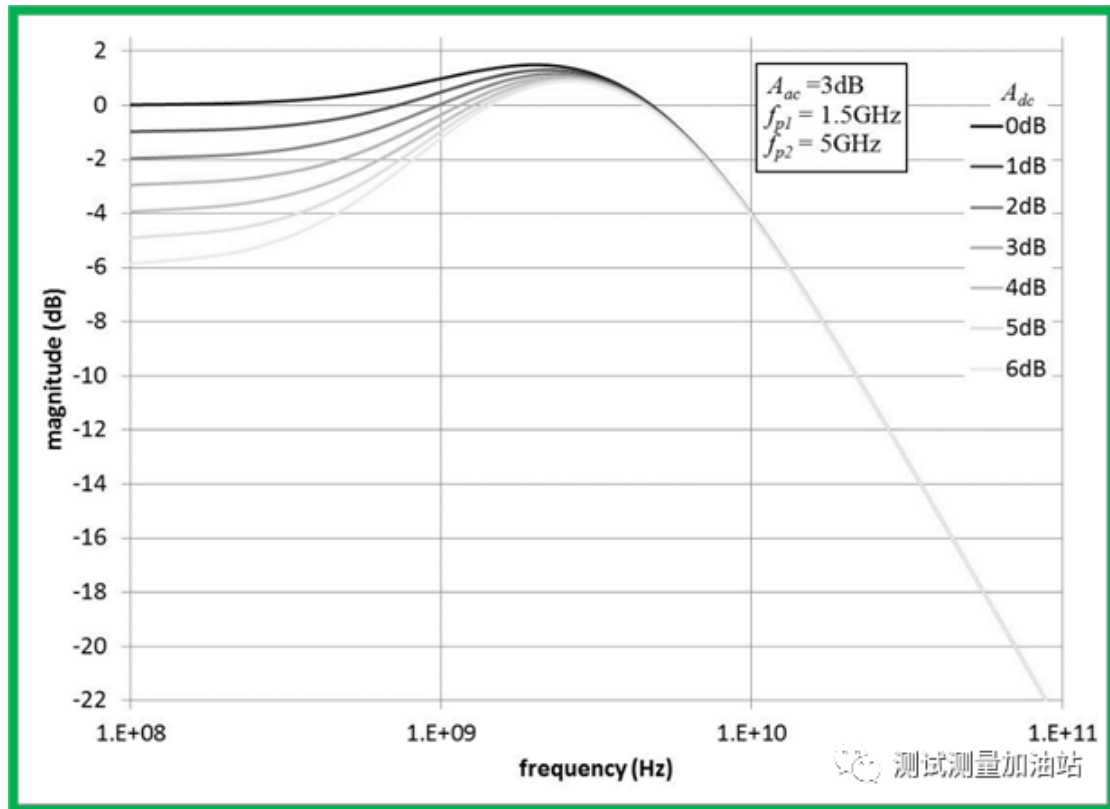
下图数字调制信号 QPSK，波特率为 4Gbaud，EVM 的 RMS 值有校准前的 6.3%，校准后只有 2.3%，发送端预失真校准大大改善了信号质量。

载波为 6GHz，带宽为 4GHz 的线性调频雷达，校准前后时域波形对比，可以看出校准大大提升了信号的质量。



接收端均衡 equalization





接收端均衡的步骤

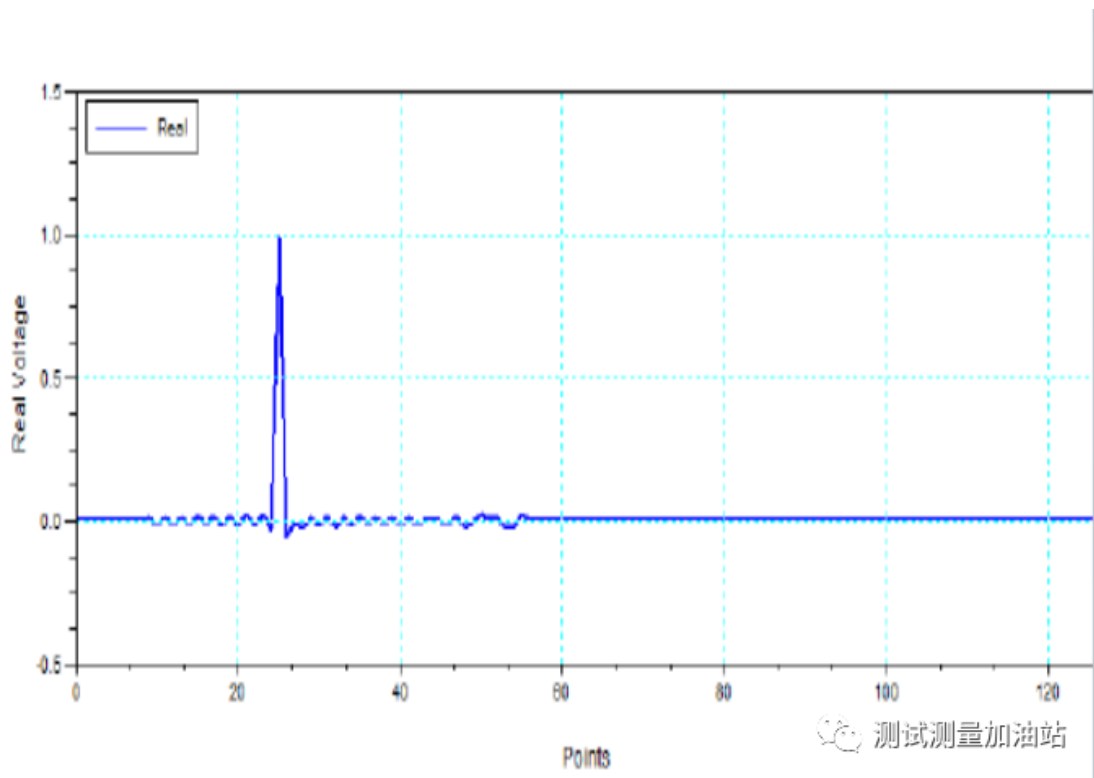
Step1. 发送数字调制信号作为校准信号，例如 QPSK，符号速率：2Gbaud；

Step2. 利用实时示波器或实时信号分析仪采集并进行解调；

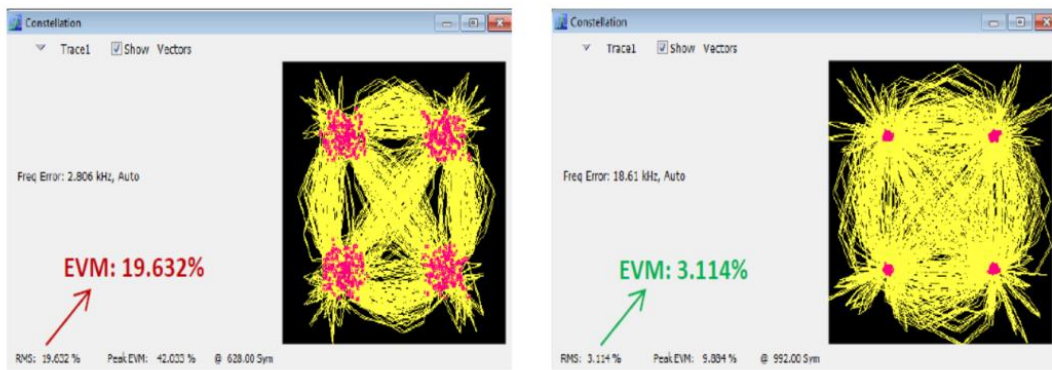
Step3. 在解调设置的均衡菜单中，enable 均衡功能，tracking 观测 EVM 结果，达到 EVM 最小时 Hold on，并可支持把均衡后的均衡因子数据保存。

```
Readme_EqTapsHdr.txt - メモ帳
ファイル(F) 編集(E) 書式(O) 表示(V) ヘルプ(H)
5 0                                <- number of header lines before coefficients start
704000000 0                        <- EQ tap sample rate
176000000 0                        <- signal symbol rate
4 0                                <- sample/symbol ratio
241 0                              <- number of EQ coefficients following this line, to EOF
2.9348058160e-004 -1.7987535102e-003 <- r-tap[0] i-tap[0]          Real and imaginary part data
-5.7026330614e-004 -1.1180227739e-004 <- r-tap[1] i-tap[1]          Real and imaginary part data
-1.0698150145e-003 1.1829211144e-003   . . .
-1.0887987446e-003 1.4662117464e-003
-8.1727810903e-004 7.3578918818e-004
-5.7314604055e-004 -4.1419477202e-004
-5.5837124819e-004 -1.1780369096e-003
-7.1772880619e-004 -1.0498677148e-003
-8.0342264846e-004 -1.3374435366e-004
-6.0172739904e-004 9.5142697683e-004
-1.4986826864e-004 1.5087397769e-003
2.3812467407e-004 1.2425445020e-003
1.8588421517e-004 4.455889326e-004
-4.2928100447e-004 -2.3969060567e-004
-1.3022152707e-003 -3.1146974652e-004
1.8302140914e-003 2.1273406370e-004
```

测试测量加油站

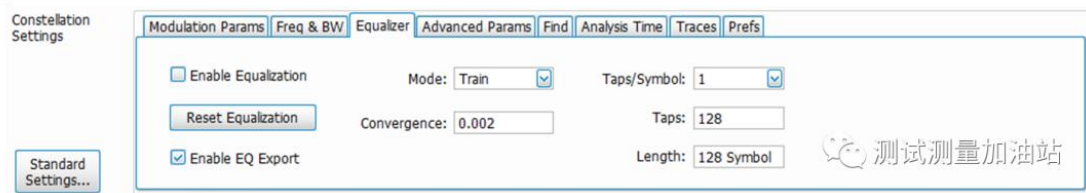


接收端均衡前后测试结果对比



运用 Equalizer 前

运用 Equalizer 后



总结

为了更高数据速率，信号的带宽越来越大。带宽越大，由于有器件、电缆等损耗影响，导致带内不平坦，相位非线性失真，为保证信号的带内平坦度，提高信号的质量，需要对信号进行校准。通过对发送端信号进行预失真校准或接收端信号进行均衡处理，大大改善宽带信号带内不平坦，并修正相位失真，从而大大提高了宽带信号的质量。

更多精彩测试干货，关注测试测量加油站



测试测量加油站