

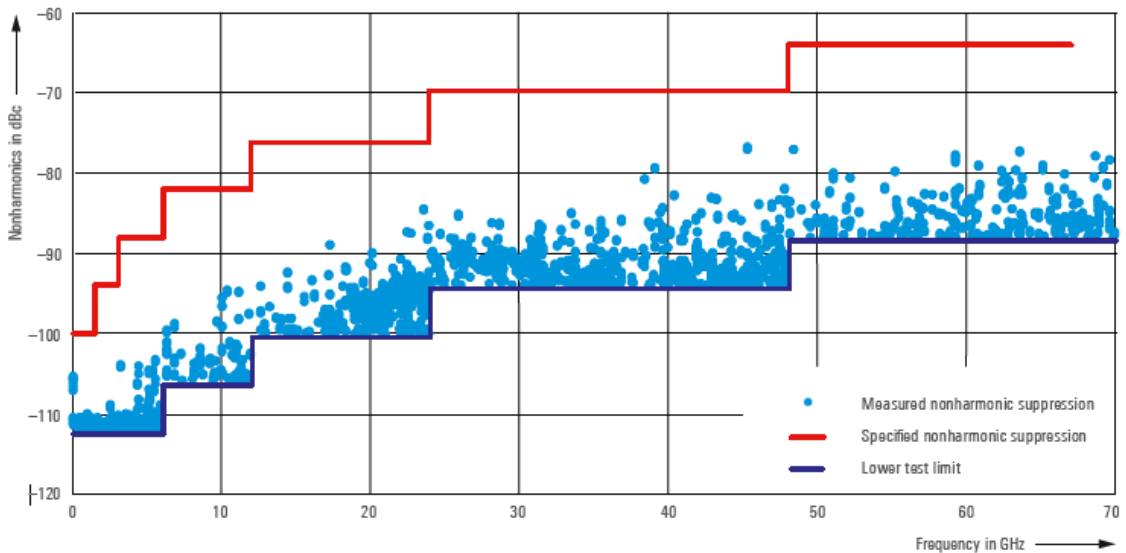
# 5G 元器件测试平台

## 1. 高速高带宽 ADC 和 DAC 性能指标测试

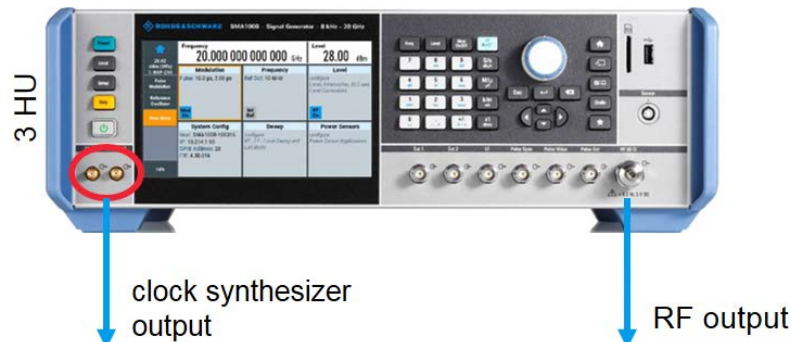
5G 在 Sub 6G 和毫米波两个频段单载波最大带宽分别是 100 MHz 和 400 MHz，通过载波聚合后信号总带宽可达 200 MHz 或 1 GHz，并且上下行同时定义了最大 256 QAM 高阶调制方式，这对特别是基站 AAU 内的 ADC / DAC 的有效带宽/ SFDR/ SNR / ENOB 等指标提出了严格的要求，为了能够要测试此类转换器的性能，时钟及测试信号源的指标必须超出被测设备的无杂散动态范围。

纯净的时钟信号可以为 DAC 的模拟输出信号提供最佳的频谱纯度。新款 R&S SMA100B 在 1 GHz 载波频率下非谐波小于 100dBc，相比于前代产品，其噪声级别提高 10 dB 到 18dB。

Measured nonharmonics values ( $f_{offset} \geq 10$  kHz) with R&S®SMA-B711(N) option

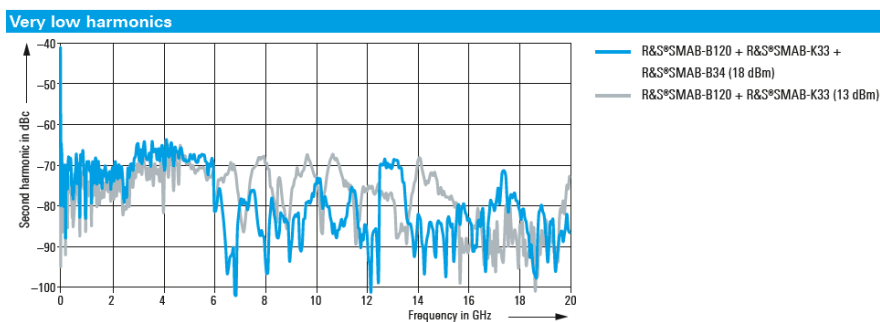


测试 ADC 通常需要两个信号源：一个是被测设备的采样时钟，另一个是模拟信号。SMA100B 除了主射频频率外，另外提供了一个具有超低相位噪声以及宽带噪声（最高 6 GHz）的高性能时钟合成器选件，并且时钟的频率可与主射频频率分开设置。通过共享的内部 1 GHz 参考信号，可实现输出时钟信号与主频率合成器信号之间的极高相位稳定性，支持单端以及差分时钟接口，波形、电平及 DC 偏置均可编程。

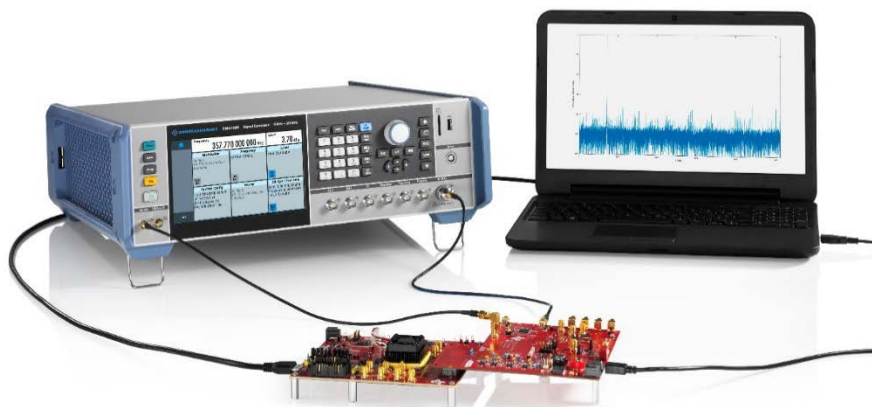
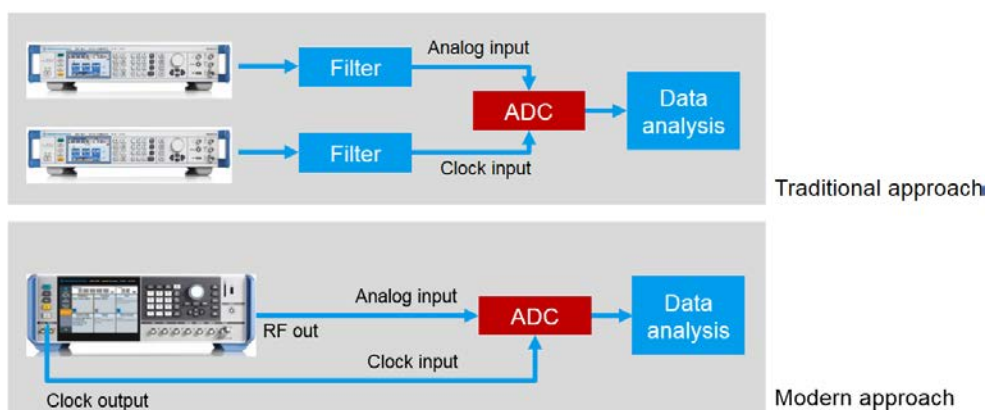


要实现高采样率以及高 ENOB，需要宽带噪声极低的信号源。宽带噪声极低的时钟信号不会使 ADC 采样输入信号的信噪比 SNR 下降。R&S SMA100B 采用优化的 RF 设计以及全新的全数字化电平控制回路，在 10 GHz 载波频率下宽带噪声通常为-162 dBc/Hz。

此外，由于 SMA100B 内置滤波器，因此可在所有输出功率选件的高功率电平下实现-65 dBc（典型值）的谐波抑制。R&S SMA100B 独特地将高输出功率、低谐波和极低的宽带噪声相结合，避免了在 ADC 的总谐波失真 THD 指标测试上使用外部放大器和滤波器的必要性。



基于 SMA100B 的高速 ADC 参数测试方案如下图所示，新方案可以省掉一台信号源以及信号路径里的多余滤波器，极大简化了测试连接和仪表数目并提高了针对 ADC 的测试能力。



## 模拟信号源 SMA100B

描述

选件名

货号

模拟信号源	R&S®SMA100B	1419.8888.02
8 kHz to 3 GHz	SMAB-B103	1420.8488.02
8 kHz to 6 GHz	SMAB-B106	1420.8588.02
8 kHz to 12.75 GHz	SMAB-B112	1420.8688.02
8 kHz to 20 GHz	SMAB-B120	1420.8788.02
8 kHz to 31.8 GHz	SMAB-B131	1420.8888.02
8 kHz to 40 GHz	SMAB-B140	1420.8988.02
8 kHz to 40 GHz, limited minimum pulse width	SMAB-B140N	1420.8965.02
8 kHz to 50 GHz	SMAB-B150	1420.9049.02
8 kHz to 50 GHz, limited minimum pulse width	SMAB-B150N	1420.9026.02
8 kHz to 67 GHz	SMAB-B167	1420.9149.02
8 kHz to 67 GHz, limited minimum pulse width	R&S®SMAB-B167N	1420.9126.02
2 HU with 5" touch display	SMAB-B92	1420.8288.02
2 HU with 7" touch display	SMAB-B93	1420.8388.02
Ultra low phase noise for R&S®SMAB-B106/-B112/-B120/-B131/-B140/-B150/-B167	SMAB-B711	1420.8020.02
Ultra Low Phase Noise for R&S®SMAB-B103	SMAB-B711N	1420.8120.02
High Output Power 3 GHz/6 GHz	SMAB-K31	1420.7100.02
Ultra High Output Power 3 GHz/6 GHz	SMAB-B32	1420.7200.02
High Output Power 12.75 GHz/20 GHz	SMAB-K33	1420.7300.02
Ultra High Output Power 12.75 GHz/20 GHz	SMAB-B34	1420.7400.02
High output power, 31.8 GHz/40 GHz	SMAB-B35	1420.7500.02
Ultra high output power, 31.8 GHz/40 GHz	SMAB-K36	1420.9178.02
High output power, 50 GHz	SMAB-B37	1420.7700.02
Ultra high output power, 50 GHz	SMAB-K38	1420.9255.02
High output power 67 GHz	SMAB-B39	1420.7900.02
Ultra high output power, 67 GHz	SMAB-K40	1420.9278.02
Differential Clock Synthesizer 3 GHz	SMAB-B29	1420.8088.02
Clock Synthesizer Frequency Extension to 6 GHz (only for instruments equipped with R&S®SMAB-B106/-B112/-B120)	SMAB-K722	1420.9810.02
Remote Control GPIB and USB	SMAB-B86	1420.6562.02

#### 频谱仪 FSW, 2Hz ~ 8/13.6/26.5/43.5/50/67/85/90 GHz

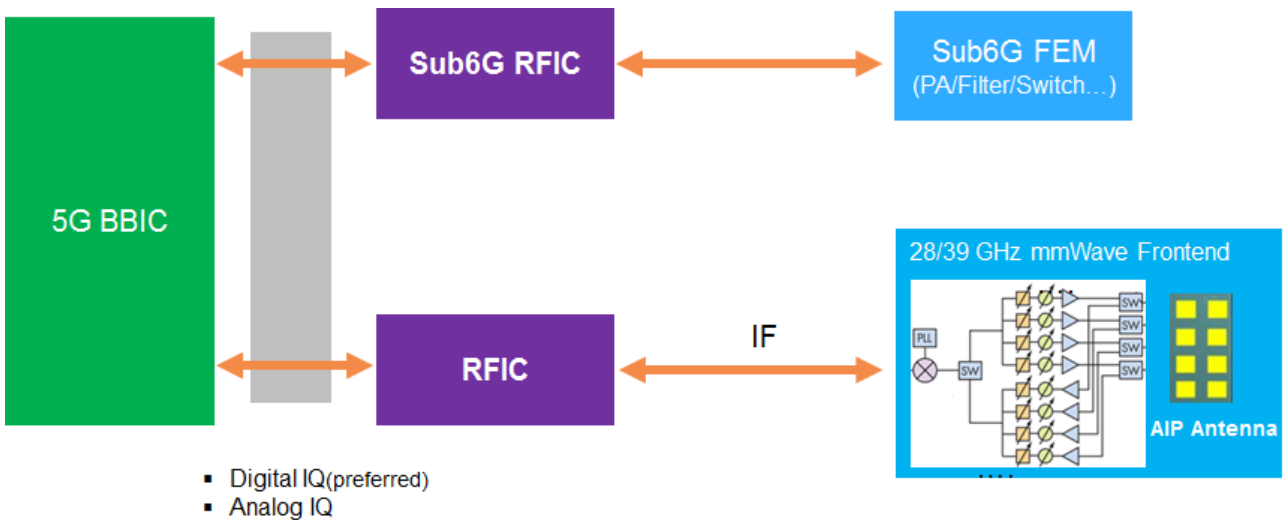
描述	选件名	货号
OCXO Precision Frequency Reference	FSW-B4	1313.0703.02
RF Preamplicifier	B24	
Highpass Filter for Harmonic Measurements	FSW-B13	1313.0761.02
160 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B160	1325.4850.14

320 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B320	1325.4867.14
512 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B512	1331.7106.14
1200 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B1200	1331.6400.14
2000 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B2001	1331.6916.14
3GPP 5G-NR DL Measurements	FSW-K144	1338.3606.02
3GPP 5G-NR UL Measurements	FSW-K145	1338.3612.02
Phase Noise Measurements	FSW-K40	1313.1397.02

## 2. 5G RFIC 测试

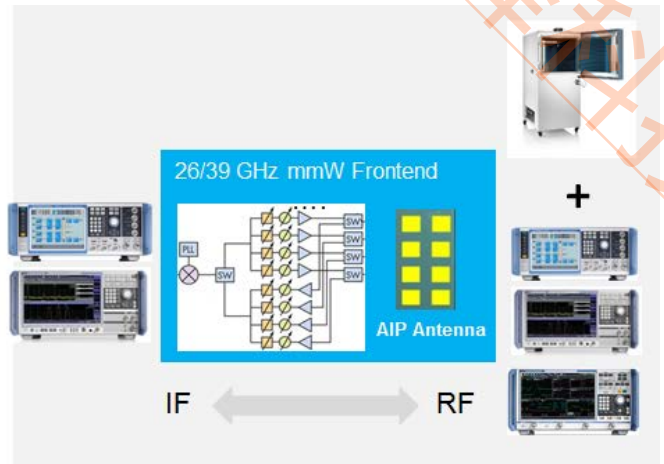
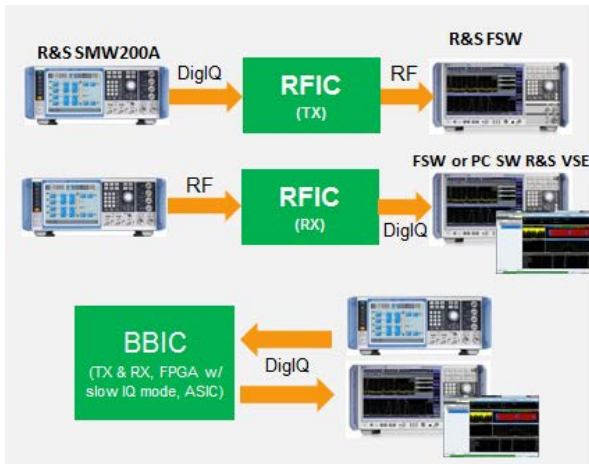
5G 终端在 Sub 6G 频段至少需要支持 2T4R 和 100 MHz 带宽，相较于 LTE 的 1T2R 和 20 MHz 带宽，其 RFIC 复杂度将显著提高。另外 5G 第一次引入毫米波 26/28/39 GHz 等频段，为了补偿毫米波传输带来的大差损问题，多天线模拟 Beamforming 成了必不可少的技术，因此毫米波 Beamformer 芯片的测试也同样刻不容缓。

未来中高端的 5G 终端会同时支持 Sub6G 和毫米波，其简化的内部框图结构如下：



5G 终端射频结构

BBIC 和 RFIC 之间的接口在 LTE 时代以模拟差分 IQ 为主，但在 5G NR 时代数字 IQ 接口变得更为主流，罗德与施瓦茨的信号源和频谱仪既支持  $\pm 1$  GHz 大带宽的模拟 IQ 接口，也能支持新型的大带宽数字 IQ 接口。



### 信号源 SMW200A

描述	选件名	货号
Wideband Baseband Generator with ARB (256 Msample), 500 MHz RF bandwidth	B9	1413.7350.02
Wideband Baseband Main Module, two I/Q paths to RF	B13XT	1413.8005.02
100 kHz to 3 GHz	B1003	1428.4700.02
100 kHz to 6 GHz	B1006	1428.4800.02
100 kHz to 7.5 GHz	B1007	1428.7700.02
100 kHz to 12.75 GHz	B1012	1428.4900.02
100 kHz to 20 GHz	B1020	1428.5107.02
100 kHz to 31.8 GHz	B1031	1428.5307.02
100 kHz to 40 GHz	B1040	1428.8506.02
100 kHz to 44 GHz	B1044	1428.5507.02
Low phase noise for RF path A	SMW-B709	1428.7300.02
Improved close-in phase noise performance for RF path A	SMW-B710	1428.6503.02
Ultra low phase noise for RF path A	SMW-B711	1428.6703.02
Baseband Extension to 1 GHz RF bandwidth	SMW-K525	1414.6129.02
Baseband Extension to 2 GHz RF bandwidth	SMW-K527	1414.6158.02
Wideband differential analog I/Q outputs	SMW-K17	1414.2346.02
5G New Radio	SMW-K144	1414.4990.02
Digital Baseband Output for R&S®SMW200A Wideband Baseband	SMW-K19	1414.3865.02

### 频谱仪 FSW, 2Hz ~ 8/13.6/26.5/43.5/50/67/85/90 GHz

描述	选件名	货号
OCXO Precision Frequency Reference	FSW-B4	1313.0703.02

RF Preamplifier	B24	
Highpass Filter for Harmonic Measurements	FSW-B13	1313.0761.02
160 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B160	1325.4850.14
320 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B320	1325.4867.14
512 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B512	1331.7106.14
1200 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B1200	1331.6400.14
2000 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B2001	1331.6916.14
3GPP 5G-NR DL Measurements	FSW-K144	1338.3606.02
3GPP 5G-NR UL Measurements	FSW-K145	1338.3612.02
Noise Figure Measurements	FSW-K30	1313.1380.02
Phase Noise Measurements	FSW-K40	1313.1397.02
Analog Baseband Inputs, 40 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B71	
80 MHz Analysis Bandwidth for Analog Baseband Inputs	FSW-B71E	1313.6547.02
Oscilloscope Baseband Inputs	FSW-B2071	1331.8302.02

### 3. 功率放大器 PA 测试

#### 1. 宽带功放数字预失真测试方案

##### 2.1 功放预失真测试系统搭建及测试流程简介

针对放大器测试，R&S 除了可以提供传统的测试工具网络分析仪之外，还可以提供基于信号源 SMW200A 和频谱仪 FSW 的测试方案。利用该方案，信号源和频谱仪可以通过网线进行通信，可以轻松实现对功放数字预失真的闭环测试，且可以实现多次迭代测试。这套方案可以对功放数字预失真前后的各种重要指标如 AM/AM、AM/PM、误差矢量幅度（EVM）、邻道泄漏比（ACLR）、1dB 压缩点、增益等进行同时测试。仪表连接示意图见图 1。

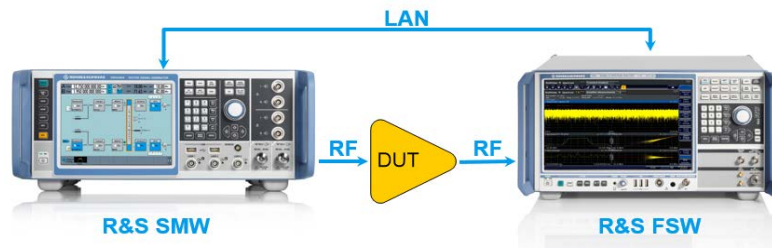


图 1 功放测试仪表连接示意图

针对数字预失真测试，信号源 SMW200A 通过射频输出口提供激励信号，信号经过功放被放大之后产生失真并输出，失真后的信号被频谱仪 FSW 所接收，该信号被称为“测量”信号；同时 SMW200A 也会通过网线将原始 IQ 数据直接发送给 FSW，这个信号称之为“参考”信号。频谱仪的功放测量选件 FSW-k18 会把“测量”信号和“参考”信号做同步运算，得到两者之间的差异，从而得到信号 EVM 等指标。系统流程示意图见图 2。

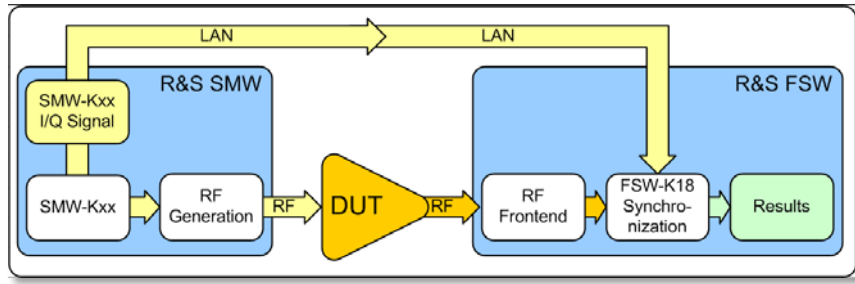


图 2 系统流程示意图

## 2.2 功放预失真测试系统功能简介

利用 SMW200A 和 FSW 组成的数字预失真测试系统，可以支持目前主流的查找表模型以及多项式模型等，如图 3 所示，就是 FSW 利用网线直接将 AM/AM 查找表和 AM/PM 查找表更新至 SMW200A 内部，SMW200A 利用得到的查找表产生带有数字预失真的信号，经过被测件之后，再由 FSW 进行测试。

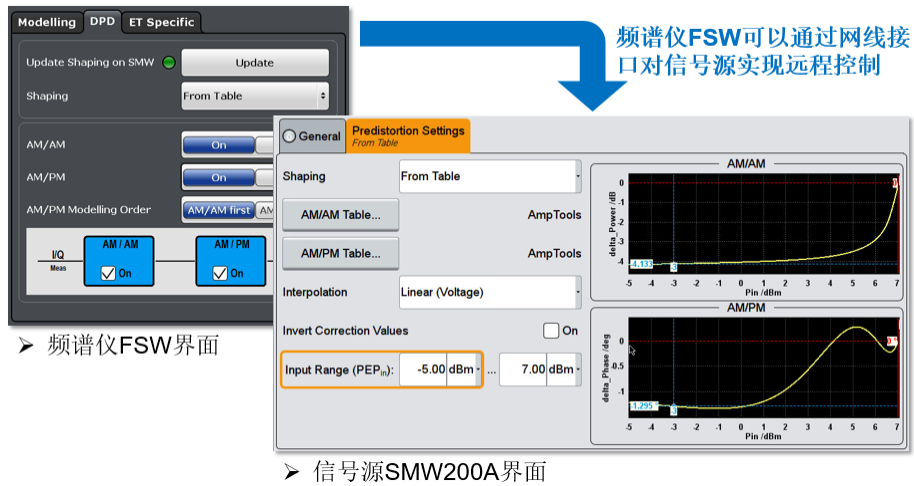


图 3 SMW200A 和 FSW 数字预失真测试配置界面

除了常规的查找表以及多项式模型之外，R&S 频谱仪 FSW 还提供一种独特的“直接”数字预失真（Direct DPD）测试方法。该测试方法不同于常规的方法，它没有采用任何数字预失真模型，而是在 FSW 内部采用对信号时域采样点进行逐点直接补偿的方式来实现实现数字预失真，执行完数字预失真补偿之后的数据会被通过网线传回给 SMW200A 并再次发射出来，信号经过被测功放产生失真之后，再次由 FSW 捕获后进行逐点直接补偿，该流程可被重复多次。简而言之，这种“直接”数字预失真的测试方法就是不依赖于模型，而是对每个采样点直接补偿，且可以实现多次迭代进而一步步实现数字预失真优化。该方法由于不依赖于现有的预失真模型，所以也无法输出数字预失真模型参数，但是可以让用户通过最简单快捷的方式了解被测功放的“理想”预失真效果，而且该方法支持记忆效应和频响修正功能。这种“直接”数字预失真的逐点补偿及迭代示意图见图 4。

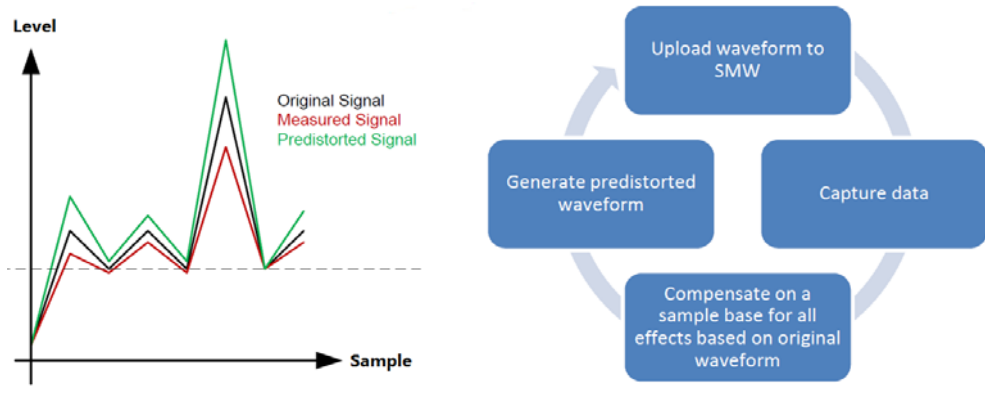


图 4 “直接”数字预失真方法的逐点补偿及迭代示意图

不管是“直接”数字预失真，还是基于模型的数字预失真，FSW 都可以给出 AM/AM、AM/PM、误差矢量幅度（EVM）、邻道泄漏比（ACLR）等多项指标。图 5 三张图是采用“直接”数字预失真的方式得到的测试结果，其中图 5a 是数字预失真之前的测量结果，图 5b 是经过一次数字预失真后得到的测量结果，图 5c 是经过第二次数字预失真迭代之后得到的测量结果。从图 5 三张图的变化趋势可以看到误差矢量幅度（Raw EVM）从 4% 至 0.9% 再至 0.7% 持续优化，邻道泄漏比（ACLR）则从 -35dBc 优化至 -47dBc 再至 -50dBc，从测试曲线图上来看，增益压缩曲线（Gain Compression vs Input Power）随着数字预失真迭代次数的增加线性区逐渐向高功率区域延伸，EVM 曲线（EVM vs Input Power）也随着迭代系数增加在高功率下实现了 EVM 优化，AM/PM 曲线（Phase Deviation vs Input Power）也随着迭代系数增加变得线性度更好。

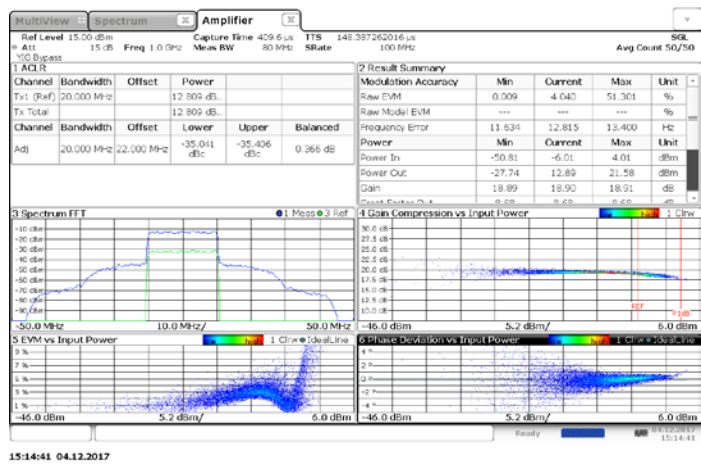


图 5a 数字预失真之前的功放测量结果



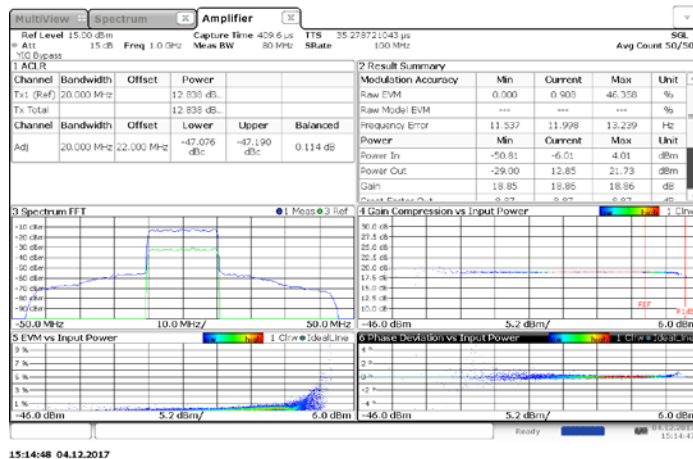


图 5b 经过一次数字预失真运算后的功放测量结果

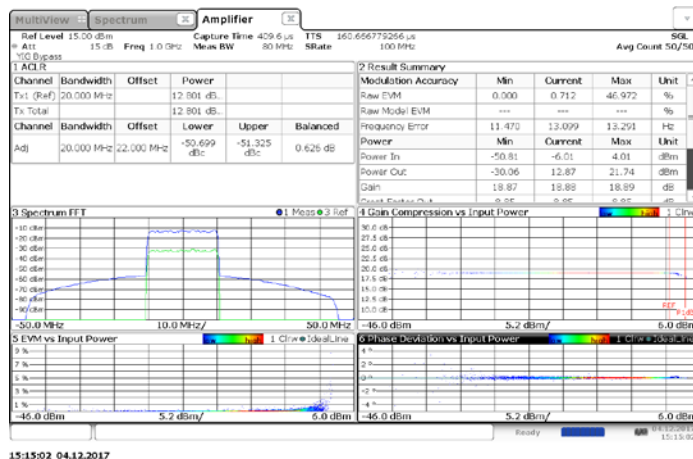


图 5c 经过两次迭代数字预失真运算后的功放测量结果

### 2.3 R&S 数字预失真测试仪表性能

该测试方案主要由信号源 SMW200A 和频谱仪 FSW 组成，可以帮助客户快速的搭建一套放大器数字预失真测试测试平台，可以支持不同的数字预失真模型（查找表，多项式），还可以支持 R&S 独有的“直接”数字预失真测试方法，帮助用户快速确认放大器的“理想”预失真效果。此外，针对放大器测试，FSW 配合 SMW200A 还支持包络跟踪放大器测试，进一步扩展了这套方案的适用范围。

该方案中采用的信号源 SMW200A 单台仪表载频可以支持到 40GHz，信号带宽支持 2GHz，信号源内置宽带信号质量优化模式，这样就保证了信号源产生的宽带信号平坦度，图 6 中可以看到 SMW200A 输出的 2GHz 宽带多音信号，利用频谱仪 FSW 测到的 2GHz 之内的幅度平坦度约为 0.4dB，这就保证了功放的输入信号的质量。

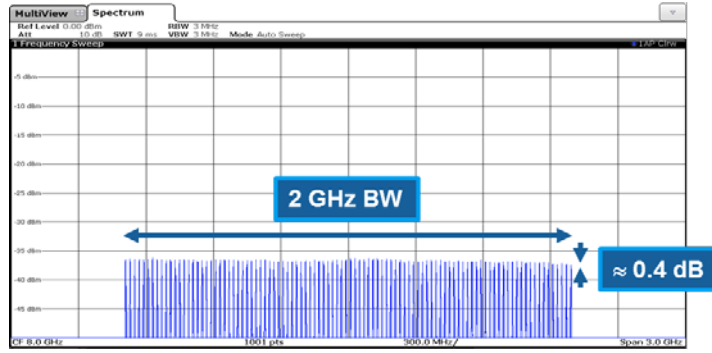


图 6 SMW200A 2GHz 宽带多音信号幅度平坦度测试图

该方案中采用的频谱仪 FSW 单台仪表载频可以支持到 90GHz，内置 2GHz 分析带宽，且 FSW 内置的放大器测量选件可以直接通过网线对信号源 SMW200A 实现远程控制，进一步简化了测试的复杂度。这样的话，SMW200A+FSW 这种测试方案就可以支持 2GHz 带宽，保证了用户可以对宽带高频放大器进行测试，按照数字预失真采样带宽为信号带宽 5 倍的惯例，该方案可以支持对带宽为 400MHz 的信号进行理想的数字预失真测试。

有了理想的测试设备之后，还要考虑在放大器测试系统中，还可能包含射频线缆、预放、衰减器、滤波器等各种附件，这些附件本身的幅度频响和相位频响也会影响放大器的测试。针对这种场景，R&S 的信号源 SMW200A 和频谱仪 FSW 都提供对应的 k544 选件，该选件允许用户将外部附件的 S 参数文件（SnP 文件）导入到信号源和频谱仪里面，仪表会在数字域对外部附件的频响进行实时修正，从而大大减少外部附件自身频响对放大器测试的影响，示意图见图 7。至于外部附件的 S 参数，则可以提前利用网络分析仪，功率计，频谱仪等设备测量得到。

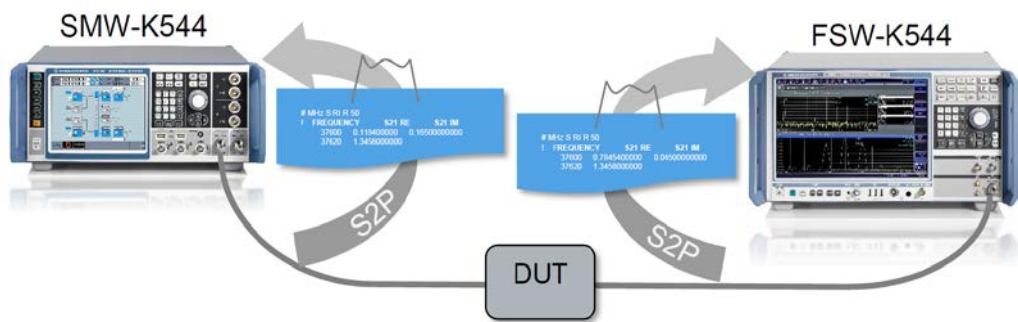


图 7 信号源和频谱仪外部频响实时修正方法示意图

### 3 小结

本文针对数字预失真测试，介绍了基于 R&S 公司信号源 SMW200A 和频谱仪 FSW 的测试方案，该测试方案可以支持查找表、多项式等模式，同时还支持特有的“直接”数字预失真测试方案，让客户能够简单方便的得到放大器的“理想的”预失真效果。最后对测试仪表进行了简单的性能介绍，SMW200A 单台仪表即可在 40GHz 频率内支持产生 2GHz 带宽的信号，FSW 单台仪表则可以在 90GHz 之内对 2GHz 信号进行分析，这两台仪表的宽带特性非常适合用于宽带数字预失真测试。

### 4 订购信息

## 信号源 SMW200A

描述	选件名	货号
Wideband Baseband Generator with ARB (256 Msample), 500 MHz RF bandwidth	B9	1413.7350.02
Wideband Baseband Main Module, two I/Q paths to RF	B13XT	1413.8005.02
100 kHz to 3 GHz	B1003	1428.4700.02
100 kHz to 6 GHz	B1006	1428.4800.02
100 kHz to 7.5 GHz	B1007	1428.7700.02
100 kHz to 12.75 GHz	B1012	1428.4900.02
100 kHz to 20 GHz	B1020	1428.5107.02
100 kHz to 31.8 GHz	B1031	1428.5307.02
100 kHz to 40 GHz	B1040	1428.8506.02
100 kHz to 44 GHz	B1044	1428.5507.02
Low phase noise for RF path A	SMW-B709	1428.7300.02
Improved close-in phase noise performance for RF path A	SMW-B710	1428.6503.02
Ultra low phase noise for RF path A	SMW-B711	1428.6703.02
Baseband Extension to 1 GHz RF bandwidth	SMW-K525	1414.6129.02
Baseband Extension to 2 GHz RF bandwidth	SMW-K527	1414.6158.02
5G New Radio	SMW-K144	1414.4990.02
Envelope Tracking	SMW-K540	1413.7215.02
AM/AM, AM/φM Predistortion	SMW-K541	1413.7267.02
Wideband differential analog I/Q outputs	SMW-K17	1414.2346.02
User-Defined Frequency Response Correction	SMW-K544	1414.3707.02

## 频谱仪 FSW, 2Hz ~ 8/13.6/26.5/43.5/50/67/85/90 GHz

描述	选件名	货号
OCXO Precision Frequency Reference	FSW-B4	1313.0703.02
RF Preamplifier	B24	
160 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B160	1325.4850.14
320 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B320	1325.4867.14
512 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B512	1331.7106.14
1200 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B1200	1331.6400.14
2000 MHz Analysis Bandwidth	FSW-B2001	1331.6916.14
Amplifier Measurements Application	FSW-K18	1325.2170.02
Direct DPD Measurements	FSW-K18D	1331.6845.02
3GPP 5G-NR DL Measurements	FSW-K144	1338.3606.02
3GPP 5G-NR UL Measurements	FSW-K145	1338.3612.02

#### 4. 锁相环 PLL 测试

为了能够测试得到锁相环 PLL 的真实性能，对于 PLL 的参考信号输入前提需要尽可能理想的 CW 信号，因此相噪性能目前业界最优异的 SMA100B 是作为参考信号的最佳选择。另外为了测试 PLL 的输出信号质量，R&S 专用的相噪分析仪 FSWP 在单次互相关，1GHz 中心频率，1kHz 频偏条件下典型值就能达到-156 dBc，还可以通过 100/10000 次互相关进一步提升 10/20 dB 相噪测量灵敏度。

#### 订购信息

##### 模拟信号源 SMA100B

描述	选件名	货号
<b>模拟信号源</b>	R&S®SMA100B	1419.8888.02
<b>8 kHz to 3 GHz</b>	SMAB-B103	1420.8488.02
<b>8 kHz to 6 GHz</b>	SMAB-B106	1420.8588.02
<b>8 kHz to 12.75 GHz</b>	SMAB-B112	1420.8688.02
<b>8 kHz to 20 GHz</b>	SMAB-B120	1420.8788.02
<b>8 kHz to 31.8 GHz</b>	SMAB-B131	1420.8888.02
<b>8 kHz to 40 GHz</b>	SMAB-B140	1420.8988.02
<b>8 kHz to 40 GHz, limited minimum pulse width</b>	SMAB-B140N	1420.8965.02
<b>8 kHz to 50 GHz</b>	SMAB-B150	1420.9049.02
<b>8 kHz to 50 GHz, limited minimum pulse width</b>	SMAB-B150N	1420.9026.02
<b>8 kHz to 67 GHz</b>	SMAB-B167	1420.9149.02
<b>8 kHz to 67 GHz, limited minimum pulse width</b>	R&S®SMAB-B167N	1420.9126.02
<b>2 HU with 5" touch display</b>	SMAB-B92	1420.8288.02
<b>2 HU with 7" touch display</b>	SMAB-B93	1420.8388.02
<b>Ultra low phase noise for R&amp;S®SMAB-B106/-B112/-B120/-B131/-B140/-B150/-B167</b>	SMAB-B711	1420.8020.02
<b>Ultra Low Phase Noise for R&amp;S®SMAB-B103</b>	SMAB-B711N	1420.8120.02
<b>High Output Power 3 GHz/6 GHz</b>	SMAB-K31	1420.7100.02
<b>Ultra High Output Power 3 GHz/6 GHz</b>	SMAB-B32	1420.7200.02
<b>High Output Power 12.75 GHz/20 GHz</b>	SMAB-K33	1420.7300.02
<b>Ultra High Output Power 12.75 GHz/20 GHz</b>	SMAB-B34	1420.7400.02
<b>High output power, 31.8 GHz/40 GHz</b>	SMAB-B35	1420.7500.02
<b>Ultra high output power, 31.8 GHz/40 GHz</b>	SMAB-K36	1420.9178.02
<b>High output power, 50 GHz</b>	SMAB-B37	1420.7700.02
<b>Ultra high output power, 50 GHz</b>	SMAB-K38	1420.9255.02
<b>High output power 67 GHz</b>	SMAB-B39	1420.7900.02

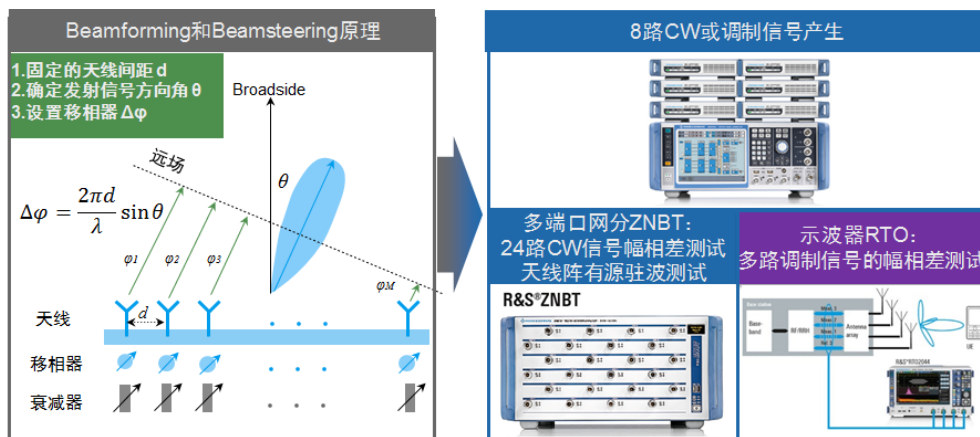
Ultra high output power, 67 GHz	SMAB-K40	1420.9278.02
Differential Clock Synthesizer 3 GHz	SMAB-B29	1420.8088.02
Clock Synthesizer Frequency Extension to 6 GHz (only for instruments equipped with R&S®SMAB-B106/-B112/-B120)	SMAB-K722	1420.9810.02
Remote Control GPIB and USB	SMAB-B86	1420.6562.02

### 相噪分析仪 FSWP8/26/50

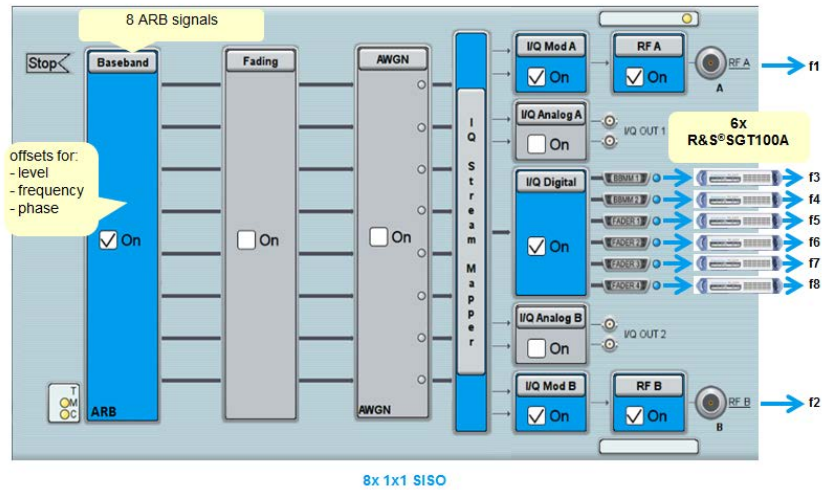
描述	选件名	货号
Phase Noise Analyzer, 1 MHz to 8 GHz	FSWP8	1322.8003.08
Phase Noise Analyzer, 1 MHz to 26.5 GHz	FSWP26	1322.8003.26
Phase Noise Analyzer, 1 MHz to 50 GHz	FSWP50	1322.8003.50
Cross-Correlation, 8 GHz	FSWP-B60	
Cross-Correlation (low phase noise)	FSWP-B61	
Additive Phase Noise Measurements	FSWP-B64	1322.9900.27
Spectrum Analyzer	FSWP-B1	
RF Preamplifier	FSWP-B24	

## 5. Massive MIMO 传导测试

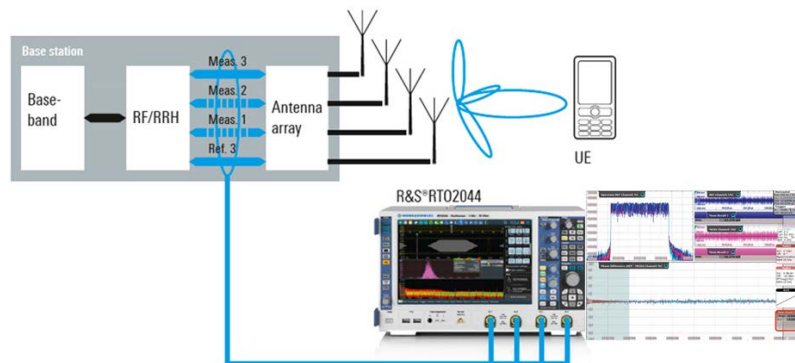
Massive MIMO 测试分成 TRX 测试和天线测试两部分。TRX 测试包括使用网络分析仪 ZNBT 或 ZNB+ZN-Z84 完成单音或多音信号的幅度差和相位差校准测试，使用示波器完成调制信号的幅度和相位测试；天线测试包括用多路信号源模拟 CW 或调制信号作为天线的激励信号，在 OTA 环境下验证天线方向图 /EIRP/TRP 等指标。



一台双通道的 SMW200A 再搭配 6 个体积非常紧凑的 SGT100A 就能非常方便地构成 8 路相参的 CW 或调制信号，作为 Massive MIMO 天线阵的激励信号。而且这八路信号的基带都在 SMW 内部实现，非常方便实现基带共 CLK，时延同步以及相位差调整。



使用 R&S 的多通道示波器 RTO2044/2064 单表支持多达 4 路调制信号的幅度相位差测试，再增加一台 RTO 可以同时测量的通道数达到 7 路。



根据自适应天线阵的自身技术特点，可将测量分为两类：电参数测量和辐射特性测量。

- 1) 电参数测量：与S参数全矩阵相关的测量。
- 2) 辐射特性测量：各天线单元的方向图和增益、典型扫描波束的方向图和增益。  
自适应天线阵的辐射特性测量原理和传统天线阵类似，在此不再赘述。下文以8单元一维自适应（智能）天线阵为例，详细介绍各项电参数指标的测量。

自适应天线阵的电参数主要指标包括：各天线端口有源反射系数、各天线端口无源反射系数、各天线单元端口间隔度（耦合度）、校准口到各天线单元的幅度相位一致性。

### 有源反射系数测量

某个端口的有源反射系数是指：在其它所有端口有真实幅相激励条件下，此端口测量得到的反射系数值，也就是考虑互耦效应影响的反射系数值。有源反射系数指标的优劣直接反映了天线阵的互耦效应强弱。

根据下面的S参数激励矩阵模型：

$$\begin{bmatrix} b1 \\ b2 \\ \dots \\ b8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{18} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{28} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{81} & S_{82} & \dots & S_{88} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ \dots \\ a8 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

可以推出各端口的有源反射系数为：

$$\Gamma_N = \frac{b_N}{a_N} = \frac{S_{N1} \times a_1 + S_{N2} \times a_2 + \dots + S_{N8} \times a_8}{a_N} \quad |N = 1, 2, \dots, 8 \quad (2.2)$$

由上式（2.2）可得端口1的有源反射系数，通用表达式为：

$$\Gamma_1 = \frac{b_1}{a_1} = \frac{S_{11} \times a_1 + S_{12} \times a_2 + \dots + S_{18} \times a_8}{a_1} = S_{11} + S_{12} \times a_2 / a_1 + \dots + S_{18} \times a_8 / a_1 = S_{11} + C_{12} + \dots + C_{18} \quad (2.3)$$

上述线阵进行波束扫描时，若各单元的幅度激励相同，仅对各单元相位加权。结合公式（1.3），可得端口1的有源反射系数为：

$$\Gamma_1 = \frac{b_1}{a_1} = \frac{S_{11} \times 1 + S_{12} \times e^{j\varphi} + S_{13} \times e^{j2\varphi} + \dots + S_{18} \times e^{j7\varphi}}{a_1}, \text{ 其中 } \varphi = kd \sin \theta \quad (2.4)$$

由上式（2.3）和（2.4）可知，若要得到任意单元的有源反射系数，需首先测量所有天线单元的S参数全矩阵。

### 无源反射系数测量

某个端口的无源反射系数是指：在其它所有端口都接匹配负载条件下，此端口测量得到的反射系数值（ $S_{nn}$ ），即S00、S11、S22、...、S33、S88。无源反射系数指标反应了天线各单元的基本匹配性能。

### 端口隔离度测量

测量各天线端口之间的隔离性能，在实际应用中一般主要关注较近端口间的隔离。如S12、S23、S34、S45、... S78、S13、S24、S35...S68等。隔离度指标的优劣也是天线单元互耦效应（仅幅度信息）强弱的一种体现形式。

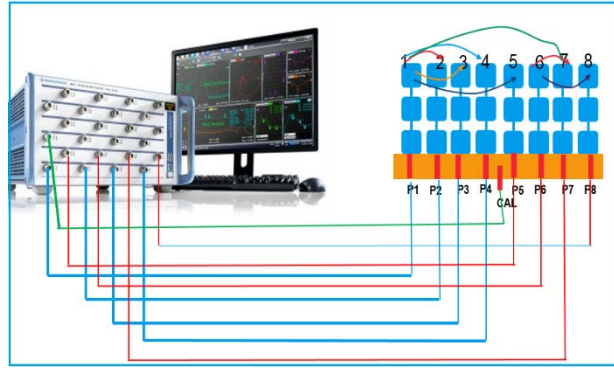
### 幅度相位一致性测量

幅相一致性测量是指，天线校准口（CAL）到各天线单元的幅相一致性指标。即S01、S02、...、S07、S08的幅度相位特性。幅相一致性指标的优劣，直接反应了各天线单元的设计、生产一致性。

由上述测试参数描述可知，自适应天线阵列不仅测试端口较多，且测试项目复杂度比普通天线要高很多。因此，普通2端口或4端口矢量网很难满足自适应天线阵列的测试要求。

### R&S 公司ZNB多端口测量解决方案

R&S ZNB是市面上性能最优、速度最快的多端口解决方案。单台ZNB最多可支持24个测量端口，测量频率上限为20GHz，该仪器完成一个24X24全矩阵S参数测量，只需512mS。它具有强大的轨迹运算功能，是高性能自适应天线阵列用户研发生产的最佳选择，R&S ZNB相对于传统VNA，测试速度和测试精度优势明显。



	R&S ZNBT	传统 VNA	传统 VNA
总测量连接次数	1	37	10
总测量时间	<100mS	>30 Min	8Min
幅度测量精度	0.01dB	0.05dB	0.05dB
相位测量精度	0.5 度	2 度	2 度

表1 9X9 S参数全矩阵测试,201点, IFBW=100KHz

### 基于R&S ZNB矢量网络分析的多端口矩阵（R&S ZN-Z84）扩展方案

基于R&S ZNB 和R&S ZN-Z84矩阵的多端口扩展方案，单台主机最多可扩展成48个测量端口。R&S ZN-Z84开关矩阵即插即用，与R&S ZNB主机连接方便。该方案测量频率上限为8.5GHz，完成一个9X9全矩阵S参数测量，时间不足300mS。同样它具有强大的轨迹运算功能，是自适应天线阵列用户研发生产的良好选择。R&S ZNB+ R&S ZN-Z84多端口矩阵扩展测量方案如图4所示。R&S ZNB和R&S ZN-Z84矩阵多端口方案相对于传统VNA，测试速度和测试精度有较大优势，具体对比数据如表2所示。

	R&S ZNB(4 端口) +R&S ZN-84(4X24) (24 端口)	传统 VNA (2 端口)	传统 VNA (4 端口)
总测量连接次数	1	37	10
总测量时间	<300mS	>30 Min	8Min
幅度测量精度@3GHz	0.02dB	0.05dB	0.05dB
相位测量精度@3GHz	1.0 度	2 度	2 度

表2 9X9 S参数全矩阵测试,201点, IFBW=100KHz

自适应天线阵列的设计极其复杂尤其是互耦效益的去除，采用先进的测量手段进行指标验证尤为重要。每个天线阵都有庞大的射频端口数，每个阵中单元都需考虑周边大量端口对其自身的影响，因此迫切需求高性能、高效率多端口矢量网络分析仪测量方案。

R&S ZNBT单台仪器可以达到24端口，结合扩展矩阵最多可扩展至144个测量端口。它是市面上性能最优、速度最快的多端口测量方案，是5G通信 Massive MIMO 天线研发生产的最佳选择。

基于R&S ZNB 和R&S ZN-Z84矩阵的多端口扩展测量方案，最多可扩展至48个测量端口，它也是自适应天线阵列用户研发生产的良好选择。

### 订购信息：

矢量信号源 SMW200A



描述	选件名	数量	货号
Baseband Generator with ARB (64 Msample) and Digital Modulation (realtime), 120 MHz RF bandwidth	SMW-B10	2	1413.1200.02
Signal Routing and Baseband Main Module, two I/Q paths to RF	SMW-B13T	1	1413.3003.02
100 kHz to 6 GHz	SMW-B1006	1	1428.4800.02
100 kHz to 6 GHz	SMW-B2006	1	1428.5807.02
Fading Simulator	SMW-B14	4	1413.1500.02
Phase Coherence	SMW-B90	1	1413.5841.02
Multiple Entities	SMW-K76	1	1413.9624.02
MIMO Fading/Routing	SMW-K74	1	1413.3632.02
Digital Baseband Output	SMW-K18	2	1413.3432.02
5G New Radio	SMW-K144	2	1414.4990.02

#### 矢量信号源 SGT100A(单台配置)

描述	选件名	数量	货号
Frequency Extension to 6 GHz	SGT-KB106	1	1419.5708.02
Reference Oscillator OCXO	SGT-B1	1	1419.5608.02
Phase Coherent Input/Output	SGT-K90	1	1419.6333.02
Digital Baseband Connectivity	SGT-K18	1	1419.6240.02

#### 多端口网络分析仪 ZNBT 8GHz

描述	选件名	货号
Adds Ports 5 to 8, for R&S®ZNBT8	ZNBT8-B108	1319.4200.02
Adds Ports 9 to 12, for R&S®ZNBT8	ZNBT8-B112	1319.4217.02
Adds Ports 13 to 16, for R&S®ZNBT8	ZNBT8-B116	1319.4223.02
Adds Ports 17 to 20, for R&S®ZNBT8	ZNBT8-B120	1319.4230.02
Adds Ports 21 to 24, for R&S®ZNBT8	ZNBT8-B124	1319.4246.02
Precision Frequency Reference (OCXO)	ZNBT-B4	332.9477.02