

# 通用射频微波芯片测试平台

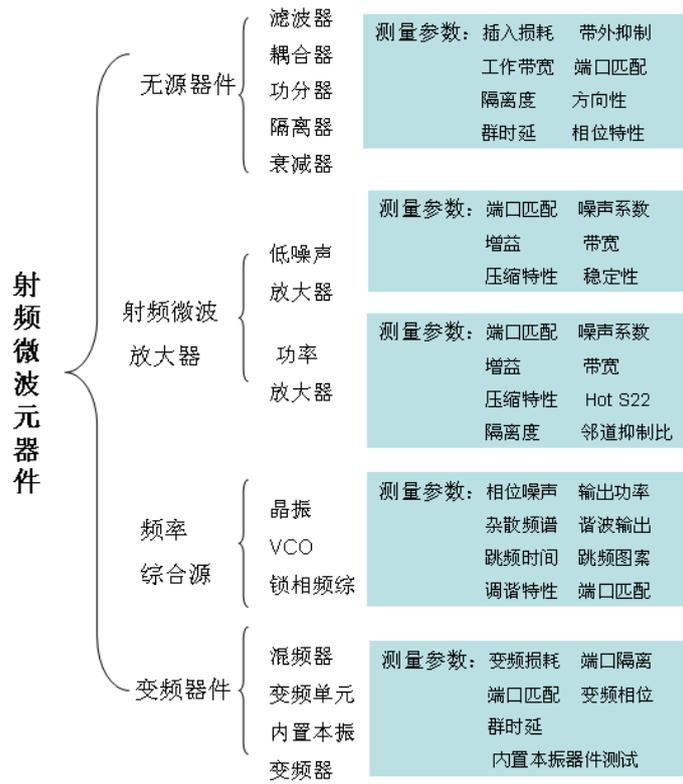
## 1 射频微波器件及芯片的发展及测试要求

中国目前在电子工业领域已经成为全球最大的基地，在移动通信、军工、元器件、半导体以及教育领域，都会出现新的要求和市场，在无线通信领域，已经迎来了 5G 时代，在国防军工领域，卫星通信，雷达等系统都在进行了新一轮的技术升级和发展，半导体，元器件和科研也进入了太赫兹时代，这些都离不开微波射频技术的支持和保障，同时也带动微波射频相应的技术创新和发展，可以肯定，未来的微波射频产业前景将是一如既往的光明。

射频微波元器件及芯片作为一切无线电子设备、无线通信系统和无线控制系统的基础，更是直接影响着系统的性能和功能。随着射频微波芯片技术的发展和工艺的进步，尤其是更加集成，小型化，多功能化芯片技术的发展，直接带动了无线通信，军工雷达以及日常消费应用的创新和进步。甚至是原来很难集成的无源器件如滤波器，开关，功分器等也可以通过 IPD 工艺技术，实现芯片化，促使各种终端模块的功能更加强大。

无论射频微波电路功能与性能如何发展，都需要通过完整的测试来评估其各方面性能与功能，判断其是否满足设计指标的性能要求。通过测试一方面可验证设计正确性，另一方面也可利用测试的性能参数可以对设计的电路进行修正和优化。微波射频电路典型的性能指标包含线性传输反射特性参数，非线性指标，噪声性能，功耗等方面。通用仪表具备很高的测试精度和完整的测试能力，能完成对低噪声放大器，功率放大器，混频器，频率综合源，滤波器等典型射频微波元器件芯片的参数进行测试分析。

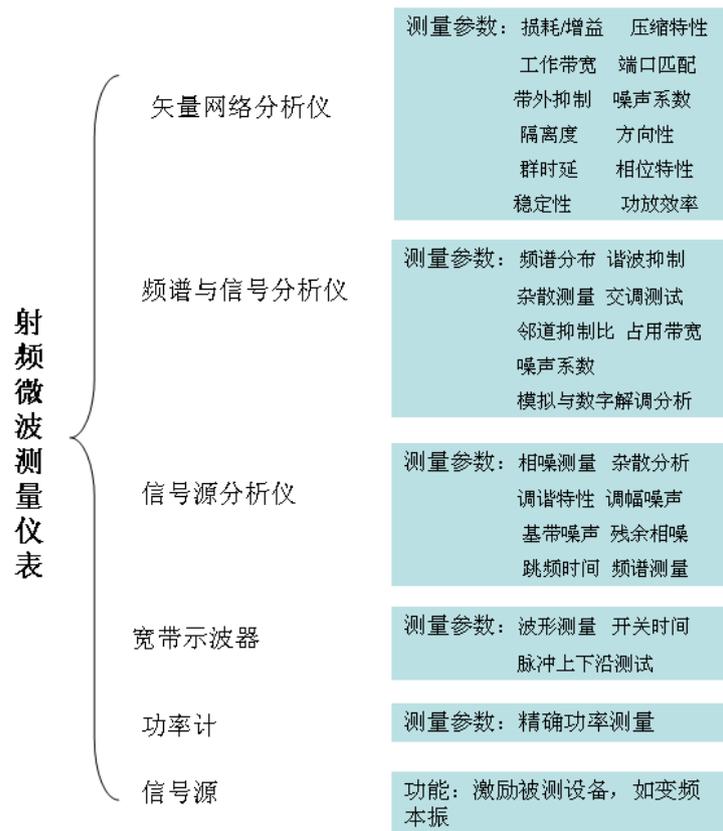
射频微波电路的测试指标繁多，下面图表简明扼要的列举了常见电路类型以及测试指标：



射频器件芯片测试类型与指标

## 2 射频微波电路测试技术方案

针对上述射频微波元器件测试的需求，下图列举了通用设备种类以及其对应常见测量项目：



### 通用测试仪器及其对应常见测量项目

罗德与施瓦茨公司(R&S 公司) 成立八十多年来，在测试与测量、信息技术和通信领域，一直雄踞技术前沿。作为全球最大的电子测量仪器生产厂商之一，一直以创新、精确和品质享誉世界。罗德与施瓦茨提供网络分析仪，信号源，频谱与信号分析仪，功率计，示波器，测试接收机，无线综合测试仪等设备与测试系统，结合中国射频与微波用户的具体需求，提供了相应的测试测量解决方案，满足市场用户的各种需要。R&S 仪表不仅能满足上图中所有的测试需求，也能提供一些独特的测试功能。下面按不同仪器分别予以详解。

## 元器件电路测试之-

### 矢量网络分析仪--R&S ZNA

ZNA 系列矢网是实验室测量和产品测试最理想的选择，能够满足高动态范围需要的滤波器测试，以及放大器、混频器、接收机和发射机等需要线性和非线性的测试。



R&S®ZNA 在许多方面是一款具有里程碑意义的仪器：

内置了四个独立的，频率高达 43.5 GHz 的矢量网络分析仪，能够进行快速的放大器和混频器双音测试

能够在 43.5 GHz 频率范围内产生相位相干信号的矢量网络分析仪

在毫米波频率范围内，拥有 30 MHz IF 带宽滤波器的矢量网络分析仪，满足放大器和混频器的脉冲测试要求

测量频率范围	10 MHz 到 26.5 或 43.5 GHz
与测量相关的端口	2 个或 4 个测量端口，激励源和接收机直接接入端口，中频测试信号接入端口
内置激励源	最多可配置 4 个相位相参的激励源，第二个本振信号源，内置脉冲信号源和脉冲调制器
动态范围	> 129 dB（规格值），最高 170 dB（典型值）
最大输出功率 功率扫描范围	+ 20 dBm（典型值） 100 dB（典型值）
底噪声 @ 1Hz IFBW	-110 dBm（标准配置，测量端口） -151 dBm（选件，测量信号直接接入测量接收机）
迹线噪声 @ 1kHz IFBW	幅度 < 0.001 dB RMS；相位 < 0.001° RMS
环境温度对测量结果的影响	< 0.01 dB/K（幅度）； < 0.1 °/K（相位）
与早期产品的兼容性	ZVA, ZVB, ZVT, ZNB

R&S ZNA 作为高端矢量网络分析除了可以进行高质量的 S 参数外，也提供了丰富的应用测量功能。

- 可以快速地对放大器和混频器进行双音测量
- 频率高达 43.5 GHz，并可生成相位相参信号

- IF 带宽可高达 30 MHz，可以实现对放大器和混频器的
- 脉冲测量，支持脉冲点、平均脉冲和脉冲包络等测量方法
- 可以对带或不带本振的混频器的变频损耗进行相位和群延时测量
- 可以对放大器和混频器进行谐波、压缩点、互调和 Hot S22 测量
- 两个内部脉冲发生器
- 内置脉冲调制器
- 嵌入/去嵌入通过虚拟网络实现阻抗匹配
- 多种校准技术：TOSM, TRL/LRL, TOM, TRM, TNA, UOSM 和 AutoCal

## 信号的产生和分析之-

### 矢量信号发生器--R&S SMW200A



SMW200A 是通用射频信号，新型宽带通信系统、3G、4G 和 5G 基站验证或航空航天和国防领域理想的信号发生器。

内置基带、最高 2000 MHz 的 I/Q 调制带宽可满足第 5 代移动通信标准，因此，SMW200A 的设计可满足未来需求。它的模块化可扩展结构，使用户能够灵活的选择配置以适应他们的应用，以及根据需要升级各种选件。

可以添加第 2 条射频路径，以及在不影响信号质量的情况下支持多达 2 个基带模块和 4 个衰落模拟器模块。因此，SMW200A 可以创建先前需要多台仪器完成，甚至完全不能实现的信号场景。从可达 8x2 的 MIMO 和包括带衰落的 LTE-Advanced 载波聚合信号到多标准无线技术，以前从来没有单台仪器能够提供这样完整的信号生成能力。

如果需要多于 2 条射频路径，可以外接连接 SGMA 信号发生器。基于触摸屏的直观操作理念可为用户提供信号配置的全局视图。各种复杂配置场景一目了然。

数字通信标准选项 (选择)		
标准/技术	选项	主要特点
5G空中接口候选方案	R&S®SMW-K114	<ul style="list-style-type: none"> <li>支持UFMC、FBMC、GFDm和OFDM</li> <li>序列长度、子载波总数/占用数、子载波间隔、循环前缀等灵活参数化</li> <li>灵活分配用户或单个分配</li> </ul>
LTE/LTE-Advanced	R&S®SMW-K66/-K69/-K81/-K84/-K85/-K112/-K113	<ul style="list-style-type: none"> <li>符合3GPP LTE版本8、9、10、11、12</li> <li>FDD和TDD</li> <li>下行链路 (OFDMA) 和上行链路 (SC-FDMA)</li> <li>载波聚合</li> <li>支持符合3GPP TS 36.141的上行链路闭环基站测试</li> <li>LTE测试用例向导</li> </ul>
3GPP FDD/HSPA/HSPA+	R&S®SMW-K42/-K83	<ul style="list-style-type: none"> <li>符合3GPP FDD版本11</li> <li>下行链路和上行链路</li> <li>HSDPA H-sets</li> <li>高阶调制, MIMO, CPC</li> <li>支持符合3GPP TS 26.141的基站测试</li> <li>3GPP测试用例向导</li> </ul>
GSM/EDGE/EDGE Evolution	R&S®SMW-K40/-K41	<ul style="list-style-type: none"> <li>MSK, FSK, AQPSK, 8PSK, 16QAM和32QAM调制</li> <li>采用GSM、EDGE和EGPRS2时隙的混合帧</li> <li>支持VAMOS</li> <li>支持高符号率 (326 kHz)</li> <li>用交替帧内容生成实际测试场景的“Framed double”序列模式</li> </ul>
CDMA2000®	R&S®SMW-K46	<ul style="list-style-type: none"> <li>符合3GPP2 C.S0002-C</li> <li>在前向链路无线配置RC1到RC6以及RC10, 在反向链路无线配置RC1到RC4</li> <li>包括在IS-2000中的所有信道编码模式</li> </ul>
1xEV-DO Rev. A, B	R&S®SMW-K47/-K87	<ul style="list-style-type: none"> <li>前向链路和反向链路</li> <li>物理层子类0和1、2或3</li> <li>采用最多16条并发信道的多载波场景</li> </ul>
WLAN IEEE 802.11a/b/g/n/j/p/ac	R&S®SMW-K54/-K86	<ul style="list-style-type: none"> <li>支持所有强制性物理层模式</li> <li>具有最大160 MHz传输带宽的VHT帧</li> <li>BPSK、QPSK、16QAM和256QAM调制</li> <li>采用4枚发射天线的MIMO模式</li> <li>支持(11a/b/g/j/p)、11n或11ac的、混合帧结构</li> </ul>
WLAN IEEE 802.11ad	R&S®SMW-K141	<ul style="list-style-type: none"> <li>符合IEEE 802.11ad-2012标准</li> <li>支持控制模式、单载波模式、OFDM模式和低功耗单载波模式</li> <li>调制编码方案0到31</li> <li>支持聚合的 MPDU</li> </ul>

## 通信信号生成

R&S®SMW200A能够与许多其它罗德与施瓦茨公司仪器一起使用			
R&S®SMW200A 功能/连接	相关选项	罗德与施瓦茨合作伙伴仪器	应用举例
数字基带输入	R&S®SMW-B10	例如, R&S®CMW500 宽带无线综测仪	R&S®CMW500做外部I/Q源, 例如, 作为信令 <sup>1)</sup>
数字基带输出	R&S®SMW-K18	例如, R&S®EX-IQ-Box 数字信号接口模块	以不同格式输出数字基带信号, 例如, 遵循CPRI标准
模拟I/Q输出	R&S®SMW-K16	例如, R&S®SGT100A信号发生器	提供附加的射频路径
R&S®NRP功率探头连接器	-	R&S®NRP-Zxx功率探头, R&S®NRP-Z28/-98电平控制探头	高精度功率测量, 结果显示在R&S®SMW200A上

## 不同格式信号输出

### 主要特点

- 频率范围从 100 kHz 到 3 GHz, 6 GHz, 7.5GHz, 12.75 GHz, 20 GHz, 31.8 GHz, 40 GHz 或 44GHz
- 可选的第二条射频通道频率范围从 100 kHz 到 3 GHz, 6 GHz, 7.5 GHz 或 20 GHz
- 内部基带信号发生器可产生最高 2 GHz I/Q 调制带宽 (射频带宽)
- 提供所有重要的数字通信标准选项
- 可选具有最高 200 MHz 带宽的内置衰落模拟器

- 优异的调制质量，例如 160 MHz WLAN IEEE 802.11ac 信号，EVM 可达到- 49 dB (实测值)
- 高端脉冲调制，开/关比>80 dB，上升/下降时间<10 ns
- 杰出的频谱纯度 (1 GHz、20 kHz 偏移时：SSB 相位噪声 - 139 dBc (典型值))
- 提供相参选件，用于波束成形等应用
- 支持所有主要 MIMO 模式，包括 2x2, 4x2, 2x4, 3x3, 4x4, , 8x4, 4x8, 8x2, 2x8, 4x2x2 等
- 通过触摸屏，采用框图结构，操作直观

## 信号的产生和分析之-

### 信号与频谱分析仪--R&S FSW



新款高性能 FSW 信号与频谱分析仪，提供了低相位噪声，大分析带宽和简明直观的操作，除可以进行信号的频谱分析外也可对宽带数字信号进行解调分析，R&S FSW 主要功能有：

- 可测量发射机输出信号的频谱分布，如信道功率、信道带宽，带外发射门限、谐波发射，交调进行测量。
- 可与噪声源配合进行接收机以及增益模块的噪声系数与增益测量。
- 自身具备良好的相位噪声特性,可自动测量信号的相位噪声曲线。
- 脉冲解调分析的功能可完成对各类脉冲调制如:线性调频、Barker 及其他相位编码雷达信号的测试，也可对最大 10 万个脉冲波形进行统计分析，分析的参数包括脉冲上升时间、下降时间、重复周期等。
- 解调各种数字调制信号，并对调制质量进行分析，如星座图，眼图等。
- 可配备 800 MHz 实时解调带宽，对宽带跳频与 OFDM 信号进行信号分析。

- 可配备 5GHz 带宽模拟中频输出与示波器先结合可实现超宽带信号分析。
- 配备 FSW-B71 选件，FSW 能够分析模拟基带信号。FSW-B17 选件提供数字基带测量功能。

测量应用	测量参数	测量功能
R&S®FSW-K6 脉冲测量	<ul style="list-style-type: none"> <li>脉冲参数: 脉冲宽度、脉冲重复率、脉冲重复间隔、工作比、上升/下降时间、调整时间</li> <li>频率: 载波频率、脉冲间频率差、线性调频斜率、频偏、频率误差</li> <li>功率: 峰值功率、平均功率、峰-均功率、脉冲间功率</li> <li>相位: 载波相位、脉冲间相位差、相位偏差、相位误差</li> <li>幅度下垂、纹波、冲宽度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>振幅下垂、纹波、过冲宽点脉冲测量: 频率、幅度、相对脉冲、所有参数的趋势和直方图</li> <li>脉冲统计: 标准差、平均值、最大值、最小值</li> <li>脉冲表</li> <li>用户定义的测量参数</li> </ul>
R&S®FSW-K7 单载波AM/FM/φM 调制信号的调制分析	<ul style="list-style-type: none"> <li>调制深度 (AM)</li> <li>频率偏移 (FM)</li> <li>相位偏移 (φM)</li> <li>调制频率</li> <li>THD和SINAD</li> <li>载波功率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AF频谱</li> <li>RF频谱</li> <li>AF时域显示</li> <li>AF滤波器 (低通和高通)</li> <li>加权滤波器 (CCITT)</li> <li>静音功能</li> </ul>
R&S®FSW-K17 多载波群延迟测量	<ul style="list-style-type: none"> <li>群延迟 (绝对和相对)</li> <li>幅度</li> <li>相位</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高达160 MHz的信号捕获带宽</li> <li>元件和变频器测量校准 (可加载和保存校准数据)</li> <li>可配置的多载波方案</li> </ul>
R&S®FSW-K18 放大器测量 <sup>1)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AM-AM、AM-PM、EVM</li> <li>AM-PM和AM-AM曲线</li> <li>同步测量放大器和RF信号的电流和电压</li> <li>包括跟踪放大器的功率附加效率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>通用放大器测量</li> <li>数字预失真</li> <li>控制和同步R&amp;S®SMW200A矢量信号源和RF信号的电流和电压</li> </ul>
R&S®FSW-K30 基于Y因子方法的噪声系数和增益 测量	<ul style="list-style-type: none"> <li>噪声系数</li> <li>噪声温度</li> <li>增益</li> <li>Y因子</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析仪的噪声校正 (2级校正)</li> <li>对频率转换的DUT的测量</li> <li>变频测量中控制信号源作为LO</li> <li>SSB和DSB</li> </ul>
R&S®FSW-K40 相位噪声测量	<ul style="list-style-type: none"> <li>单边带相位噪声</li> <li>剩余FM和剩余φM</li> <li>抖动</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 Hz ~ 10 GHz的频偏范围</li> <li>不同频偏范围的分辨率带宽和平均次数的选定</li> <li>可定义寄生FM/φM评估范围</li> <li>信号跟踪</li> <li>可选杂散辐射抑制</li> </ul>

## I 主要数据

- 频率范围 2 Hz~90 GHz (采用罗德与施瓦茨公司外部谐波混频可扩展到高达 500 GHz)
- 相位噪声低, 1 GHz 载波, 10 kHz 频偏时, 可达-137 dBc (1 Hz)
- WCDMA ACLR 测量时, 动态范围 (打开噪声消除功能), 高达- 88 dBc
- 高达 5 GHz 分析带宽
- 8 GHz 以下, 总测量不确定度<0.4 dB
- 实时频谱带宽高达 800 MHz
- 12.1" (31 cm) 高分辨率触摸屏, 操作方便
- 多个测量应用可并行运行和显示

## 相位噪声测试之-

### 相位噪声和 VCO 测试仪--R&S FSWP



在系统中，频综很重要的应用是作为本振在射频电路部分驱动混频器。在变频过程中，为了获得最小的变频损耗，以及非线性产物的最优抑制，本振的输出电平需要恰当的设计。此外，本振的相位噪声会搬移到变换之后的频段，保证良好的相位噪声特性也是对本振的重要要求之一。

频率综合器的测试参数主要包括：相位噪声，非谐波杂散，频率准确度，输出功率，频率稳定度以及频率切换时间等，罗德与施瓦茨全新的 FSWP 相位噪声分析仪和 VCO 测试仪，可以以非常高的灵敏度进行相位噪声的测量。还可以进行瞬态测量、VCO 特性测量。内置频谱分析仪，可进行频谱测量。实现对频综、VCO 等器件和模块的全方位测试。

FSWP 相位噪声分析仪和 VCO 测试仪为雷达应用以及频率合成器、恒温晶体振荡器 (OCXO)、介质共振腔振荡器 (DRO) 和 VCO 的开发与制造提供了最优测试解决方案。FSWP 可轻松配置以适用于所需的应用。此仪器内置低噪声本振，可测量大部分市售的频率合成器和振荡器，无需任何附加选项。

FSWP 面向高端应用，可配置第二接收路径以使用互相关测量法并增加灵敏度 (最高增加 25 dB，取决于互相关次数)。得益于极佳的内部源和基本数字化的架构，此分析仪的测试速度快于对鉴相器输出信号进行数字化的测试系统。



FSWP 可一键测量相位噪声，甚至可测量脉冲源的相位噪声。如加配一个内部源，则此测试仪还可测试单个组件的附加相位噪声。以往，只有使用外部源、功分器和移相器的昂贵且复杂的系统才具备此功能。

迄今为止，仍需要依靠极其昂贵且复杂的系统来测量脉冲源相位噪声，如雷达应用中所用的脉冲源的相位噪声。要实现稳定的测量，需要精确的脉冲参数信息以及极大的耐心。配置 FSWP-K4 选件后，FSWP 可一键执行这些测量。FSWP 先记录信号并计算所有的脉冲参数，然后解调信号并显示相位噪声和调幅噪声。

信号与频谱分析选件基于 FSW，具有独一无二的射频性能和高灵敏度。此分析仪的低相位噪声使用户能够精确分析调制、测量具有高动态范围的相邻信道的功率并测量与载波非常接近的杂散发射。

### 主要数据和特点

- 频段至 8 /26.5/50 GHz
- 互相关和极低噪声内部参考源实现相位噪声测量的高灵敏度
- 1 GHz 载波频率和 10 kHz 频偏时，典型相位噪声值为 -172 dBc (1 Hz)
- 调幅噪声和相位噪声同步测量
- 脉冲源相位噪声一键测量
- 内部源适用于测量附加相位噪声，包括脉冲信号的相位噪声

### 时频域信号分析之-

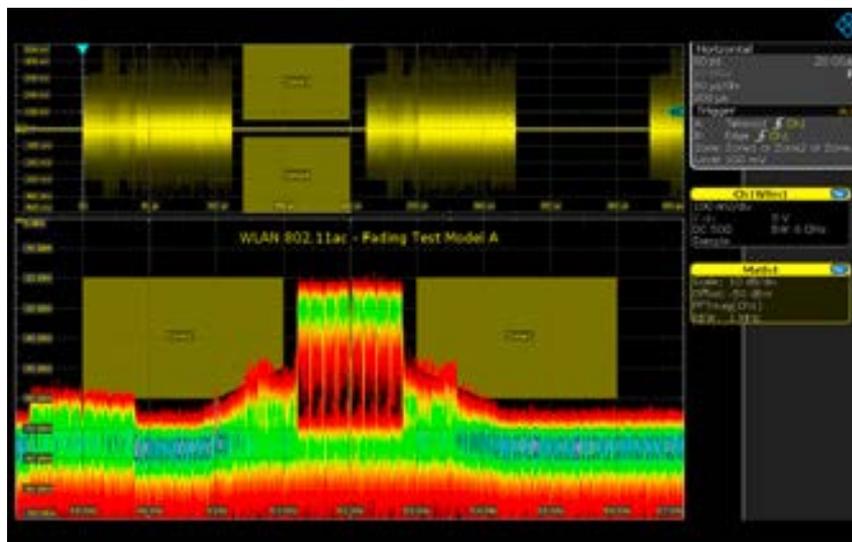
### 宽带示波器 --R&S RTP



R&S®RTP 高性能示波器将一流的信号完整性与出色的波形捕获率相结合。罗德与施瓦茨精心设计的前端组件使示波器平台可从 4 GHz 扩展至 16 GHz。专用波形捕获与处理的 ASIC 芯片以及高精度的数字触发系统使其具备业内领先的 75 万波形/秒的波形捕获率。

R&S®RTP 是全球首款能够在维持高捕获率的同时补偿信号插损的示波器。用户可以根据 S 参数来配置基于硬件的补偿滤波器。R&S®RTP 甚至可以针对去嵌信号进行触发。

R&S®RTP 示波器集成多种仪器功能，可在同一台仪器上进行时间相关性调试。R&S®RTP 还具备 MSO 功能，并支持多个用于电源测量的 18 位高精度电压和电流采集通道，是一款功能强大的调试工具。R&S®RTP 示波器将所有功能集成于紧凑的仪器内部，其工作噪音极低，适用于所有实验室应用环境。



使用区域触发在衰落条件下触发 WLAN IEEE 802.11ac 信号

## 主要数据

- 带宽:

R&S®RTP164 16 GHz

R&S®RTP134 13 GHz

R&S®RTP084 8 GHz

R&S®RTP064 6 GHz

R&S®RTP044 4 GHz

- 采样率：20 Gsample/s 每通道，双通道交织可达 40Gsample/s
- 存储深度：
  - 50 Msample 每通道
  - 最高 2 Gsample
- 波形捕获率：75 万波形/秒
- 带 16 路数字通道的混合信号选件 (MSO):
  - 400 MHz 带宽
  - 5 Gsample/s 采样率
  - 200 Msample 存储深度

## 功率测试分析之-

### 功率计--R&S NRX + NRP-Zxx/NRPxxTWG



精确测量射频功率是电子测试与测量领域中最具挑战性的任务之一，NRX 功率计是研发、生产、维修及校准实验室等众多应用领域的理想工具。除了 NRX 基本单元外，还有许多可供各种测量的探头。复杂的数字调制信号（例如 WCDMA 和 WiMAX™ 等无线标准）的处理与连续波信号、模拟调制载波（例如 AM、FM）、脉冲信号一样容易。

每个 NRP-Zxx 探头都是一件独立的测试仪器，可直接通过 USB 操作。探头通常使用 NRP-Z4 无源 USB 适配器进行连接。无论何种型号，测量前都无需校准，因为校准数据在出厂前已经直接存储在探头内。

R&S NRP-Z 系列中的功率探头 R&S NRP-Z85 基于最新的功率测量技术，它具备了传统峰值功率计的所有测量功能，尺寸非常紧凑，与其他 R&S NRP-Z 系列中的功率探头一样，其可连接功率计主机 NRX 或通过 USB 接口直接与 PC 机连接后可以进行高精度的功率测量。除平均功率测量外，R&S NRP-Z85 也可进行时域功率测量，它的分析带宽高达 30MHz（探头上升时间 <13ns），非常适合脉冲信号时域分析。另外，R&S NRP-Z85 也可以进行精确的平均值功率测量，功率电平范围为：-60dBm- +20dBm，频率范围：50MHz-40GHz。

R&S Power Viewer 是一个使用便利的软件，提供了很多通用的测量功能，如连续平均功率、测量轨迹、统计数据等。可以同时将 4 个探头连接在同一台 PC 电脑的 USB 端口上，4 个不同的测量结果同时显示在软件界面上。

同时还支持各种触发功能（如内部触发、外部触发、门限触发），确保了正确的测量结果。

主要特点：

- 性价比高、操作简单：通过 USB 连接便携式计算机/PC 进行探头操作
- 全功率、全频段测量，从 DC 到 110 GHz，从-67 dBm 到+45 dBm
- 三路径二极管功率探头，高达 90 dB 的动态范围
- 使用宽带功率探头精确分析包络功率
- 具有顶级精度的热功率探头
- 可以同时连接多达 4 个 NRP-Zxx 至 NRX 基本单元